

**FORMULACIÓN DEL DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA DISPOSICIÓN
FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN PEREIRA**

DILLAN STUART QUINTERO PARRA

C.C. 1049638937

dsquintero@utp.edu.co

YEFERSSON IGNACIO SOLARTE CALDERÓN

C.C. 1127074978

ignacio.solarte@utp.edu.co

Trabajo de grado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico

DIRECTOR:

LIBARDO VICENTE VANEGAS USECHE, Ph.D.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PEREIRA

2020

PAGINA DE ACEPTACIÓN

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mi madre Merly Calderón, a mi padre Daniel Solarte, a mis hermanas Jesica y Leidy, asimismo a mis familiares quienes se han esforzado por apoyarme a salir adelante y cumplir este objetivo. A mi querida compañera y amiga Laura Huelgas quien me ha motivado a sobrepasar los obstáculos que se me presentaron para llegar a convertirme en un profesional integro.

Ignacio Solarte Calderón

Este trabajo se lo dedico primeramente a Dios quien me guió constantemente, a mis padres Cesar Quintero y Aifa Parra que me apoyaron en todo el proceso y a mi esposa Joahana Tamayo quien es mi mejor compañía.

Dillan Quintero Parra

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios, quien nos ha dado la vida, al Ingeniero Humberto Giraldo Villada por sus aportes y el tiempo dedicado a este trabajo. De igual manera agradecemos al Ingeniero Libardo Vanegas Useche por haber aceptado la dirección de este trabajo investigativo. A todos los profesores de la Universidad Tecnológica de Pereira quienes nos formaron profesional y primordialmente como personas de bien. A nuestros compañeros y amigos con quienes compartimos conocimientos, valores, fuerzas y responsabilidades labrando así el camino para ser profesionales con la capacidad de aportar al desarrollo de la sociedad.

TABLA DE CONTENIDO

- 1. INTRODUCCIÓN**
 - 1.1 Planteamiento del problema**
 - 1.2 Objetivo general**
 - 1.3 Objetivos específicos**
- 2. REVISIÓN DE LITERATURA**
 - 2.1. Marco histórico**
 - 2.2. Marco legal**
 - 2.3. Marco teórico**
 - 2.4. Formulación del estado del arte de los residuos sólidos urbanos**
 - 2.4.1. Diagnostico internacional
 - 2.4.2. Diagnostico nacional
- 3. RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN PEREIRA**
 - 3.1. Clasificación de los RSU**
 - 3.1.1 Residuos domésticos y comerciales
 - 3.1.2 Residuos institucionales
 - 3.1.3 Residuos de construcción y demolición
 - 3.1.4 Residuos de servicios municipales
 - 3.2. Propiedades y estructura de los RSU**
 - 3.2.1 Propiedades físicas de los RSU
 - 3.3. Materiales recuperables en Pereira**
 - 3.4. Proyección de la generación de residuos sólidos en Pereira**
- 4. EQUIPOS DEL PROCESO DE SEPARACIÓN, CLASIFICACIÓN, TRATAMIENTO Y TRANSFORMACIÓN FINAL DE RSU**
 - 4.1. Tolva de recepción**
 - 4.2. Bandas transportadoras**
 - 4.3. Abre bolsas**
 - 4.4. Separador balístico**

- 4.5. Separador magnético**
- 4.6. Separador de materiales inertes**
- 4.7. Separador de corriente de Foucault**
- 4.8. Separador óptico**
- 4.9. Compactadores hidráulicos**
- 4.10. Equipos y accesorios complementarios**
- 5. FORMULACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS EMPLEADAS EN LA DISPOSICIÓN FINAL DE RSU**
 - 5.1. Tecnología de separación y procesamiento**
 - 5.2. Tecnología de transformación**
 - 5.2.1. Sistema de incineración
 - 5.2.2. Trituración de residuos sólidos
 - 5.2.3. Cribado y granulado de residuos sólidos
 - 5.2.4. Transformación por compostaje
 - 5.3. Tecnología de recuperación de materiales**
 - 5.4. Tecnología de eliminación final**
 - 5.5. Tecnología de procesamiento de lixiviados**
- 6. FORMULACIÓN DEL ESTUDIO TÉCNICO**
 - 6.1. Localización de la planta de disposición final de RSU**
 - 6.1.1. Macro localización de la planta
 - 6.1.2. Micro localización de la planta
 - 6.2. Formulación del proceso de disposición tecnológica de RSU**
 - 6.2.1. Diagrama de flujo arribo de los residuos
 - 6.2.2. Diagrama de flujo de residuos peligrosos
 - 6.2.3. Diagrama de flujo de residuos voluminosos
 - 6.2.4. Diagrama de flujo de residuos rodantes “3D”
 - 6.2.5. Diagrama de flujo de residuos planares y ligeros “2D”
 - 6.2.6. Diagrama de flujo de residuos finos
 - 6.2.7. Diagrama de flujo hacia la disposición final
 - 6.3. Formulación de la distribución de la planta**
 - 6.3.1. Distribución espacial

6.3.2. Requerimientos de máquinas y equipos

6.3.3. Requerimientos de talento humano

6.4. Formulación del diseño de señalización de las áreas de la planta

6.4.1. Señalización de vías de acceso y áreas de circulación exteriores

6.4.2. Señalización de áreas de seguridad y de circulación interna de la planta

7. CONCLUSIONES

8. RECOMENDACIONES

9. BIBLIOGRAFÍA

10. REFERENCIAS

11. ANEXOS

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Normatividad nacional acerca de los RSU.

Tabla 2. Separación general de los RSU.

Tabla 3. Clasificación específica de los RSU.

Tabla 4. Fuentes de residuos sólidos en la comunidad.

Tabla 5. Componentes de los residuos sólidos domésticos para los países de bajos, medianos y altos ingresos, excluyendo materiales reciclados.

Tabla 6. Materiales que se han recuperado de los RSU para su reciclaje.

Tabla 7. Métodos utilizados para el procesamiento y la recuperación de componentes individuales de residuos a partir de RSU.

Tabla 8. Composición física de los RSU en la ciudad de Pereira según tipo de material.

Tabla 9. Datos típicos de peso específico y contenido de humedad de residuos domésticos.

Tabla 10. Materiales recuperados por S.A E.S.P Tribunales Córcega en los últimos años.

Tabla 11. Cantidad de material reciclado [t/mes].

Tabla 12. Proyección de la composición de los residuos sólidos urbanos del municipio de Pereira.

Tabla 13. Constante empíricas para cintas transportadoras.

Tabla 14. Dimensiones de separadores magnéticos marca Sollau.

Tabla 15. Tecnología de separación de RSU

Tabla 16. Matriz de Ponderación y calificación de variables. Micro localización

Tabla 17. Balance de requerimiento de área y altura.

Tabla 18. Requerimiento de equipo y maquinaria.

Tabla 19. Requerimiento de talento humano.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista frontal de Abre bolsas.

Figura 2. Separador balístico Bianna Recycling.

Figura 3. Separador magnético.

Figura 4. Método de incineración de RSU.

Figura 5. Molino de martillos.

Figura 6. Criba de disco versión D 6000-1600.

Figura 7. Vista frontal de la criba: D 6000-1600.

Figura 8. Máquina granuladora FMS-2000.

Figura 9. Reactor para compostaje de flujo horizontal con depósito rotatorio.

Figura 10. Sistema Anaerobio (Reactor UASB).

Figura 11. Sistema de evaporación de lixiviados.

Figura 12. Mapa del Eje Cafetero

Figura 13. Mapa del municipio de Pereira

Figura 14. Código de colores, contraste y señales de seguridad para demarcación de vías y áreas externas. NTC 1461

GLOSARIO

Formulación tecnológica: es la propuesta de carácter tecnológico para una empresa, y estará conformada por todos los recursos tecnológicos y humanos que mejor se adecuen a las necesidades, que puedan aportar un mayor valor al negocio y que se integren en la estrategia tecnológica, para realizar la mejor elección de los recursos tecnológicos y humanos para desarrollar los diferentes productos como una cadena de valor.

Residuos sólidos urbanos (RSU): objetos producto del desecho dentro de las ciudades y alrededores; se pueden obtener clasificaciones propiedades y composiciones físicas.

Sustentable tecnológica y económicamente: capaz de retroalimentarse con equipos para la clasificación, selección y proceso de los RSU, produciendo bienes monetarios para su funcionamiento.

Compost: subproducto obtenido del procesamiento de material orgánico.

Vertederos: sitios de acopio de los RSU, despojos o escombros, vertidos en estos lugares para su descomposición.

Caracterización de los residuos: rotulación de los RSU.

Generación en la fuente: lugar de primer contacto con el RSU como los hogares, empresas u otros. Se recomienda una separación ideal en la fuente, con el fin de optimizar el proceso de selección en una planta para los RSU.

Centro de acopio: lugar donde llegan los RSU procedentes de las ciudades y/o urbanizaciones. Cuentan con los lugares de recepción y en donde se puede realizar una preclasificación o preselección de lo obtenido del procedimiento de recolección.

Muestreo bietápico: muestra previamente seleccionada u obtenida de un conglomerado de muestras.

Manejo de los residuos sólidos: gestión integral de los RSU.

Procesos de recuperación: capacidad de realizar una recuperación correcta de un residuo, incluyendo la separación de otros residuos, hasta el despeje de otros contaminantes ajenos al tipo de residuo que se esté procesando.

Lixiviados: son aguas residuales de la descomposición de los residuos sólidos o aguas lluvias que se infiltran en los desperdicios hasta llegar a una cantidad de saturación donde comienza a filtrar los lixiviados.

Separación: actividad que consiste en separar cada tipo de residuo, se puede realizar n cantidad de veces, lo suficiente para obtener un buen residuo para el debido reciclaje.

Clasificación: desarrollo en el cual se puede presentar una selección específica o una selección robusta de los residuos sólidos.

Tratamiento: manejo ideal de los residuos.

Disposición final: proceso final al que es sometido un RSU y así dar una utilización final del mismo.

Macro localización: localización general como país, ciudad o municipio donde va a estar ubicada la planta.

Micro localización: localización puntual dentro del cerco obtenido en la macro localización.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la producción de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) está presente en todos los procesos que realizan los seres humanos, y desde hace mucho tiempo, estos están deteriorando los recursos naturales. Por ende, es importante darles un buen tratamiento para minimizar el daño ambiental que causan. Los RSU tienen una tendencia de crecimiento, producto de la sobrepoblación, el consumismo, la ignorancia y la falta de educación ambiental. La clasificación y separación de los desechos es un problema, porque no hay una cultura que ayude a hacer una clasificación previa desde los hogares. En este trabajo se busca formular el diseño de una planta de separación de RSU para aprovechar los materiales recuperables, como el material orgánico, papel, vidrio, plástico. Etc. Estos componentes terminan siendo enterrados en los rellenos sanitarios, deteriorando o alterando los ecosistemas naturales que se encuentran cerca de los rellenos; además, aumenta la demanda en los rellenos sanitarios al incrementar más el volumen de los residuos que los llenan; conjuntamente aumentan las emisiones de gases de efecto invernadero, entre otros problemas.

Los materiales reciclados pueden ser comercializados para tener una importante fuente de ingresos económicos para el sostenimiento de la planta, convirtiéndose en un proyecto sustentable tanto tecnológicamente como económicamente.

1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad, aproximadamente 49% de los RSU de la ciudad de Pereira es material orgánico [1]. Este material termina en los rellenos de la ciudad y se convierte en un medio para el transporte de químicos contaminantes y microorganismos que destruyen los ecosistemas cercanos a los rellenos sanitarios. Además de aumentar la producción de gases de efecto invernadero de los rellenos sanitarios. Por este motivo, es conveniente aprovechar los desperdicios orgánicos para fabricar un compost. En la ciudad de Pereira los RSU no son clasificados por la falta de educación ambiental de los ciudadanos, los cuales no separan los desperdicios, como es recomendado, para facilitar el reciclaje de los materiales recuperables.

Por tanto, se tiene la necesidad de diseñar una planta que permita, como principal objetivo, la obtención de desperdicios orgánicos por medio de una preclasificación de los RSU, además

de clasificar el resto de los residuos con el fin de aprovechar los materiales reciclables. Para ello se tienen que seleccionar los equipos adecuados dependiendo de la capacidad de la planta y la demanda de RSU de la ciudad de Pereira. Además, podría pensarse en acaparar los residuos de otras ciudades, mejorando así los estilos de vida no solo de la localidad, sino de las localidades vecinas. La cristalización de este proyecto puede generar un impacto social mejorando la imagen de la ciudad y constituye un aporte a la responsabilidad ambiental.

1.2. Objetivo general

Formular el diseño de una planta receptora de Residuos Sólidos Urbanos, considerando los procesos tecnológicos de logística de acopio en el sitio, así como la recuperación, transformación, y disposición final de los residuos sólidos inertes; aplicando los conceptos de cinemática y dinámica de transporte de materiales, diseño y selección de maquinaria y equipos, hidráulica de compactación, almacenamiento, seguridad ocupacional bajo la norma ISO - 45001, y normas ISO - 14001 de la disposición final de residuos sólidos y ubicada en la ciudad de Pereira.

1.3. Objetivos específicos

Identificar la caracterización de la composición de los RSU, en la ciudad de Pereira, consultando trabajos previos sobre el tema de plantas receptoras y transformadoras de los mismos.

Formular el proceso para la separación, manejo y disposición final de base tecnológica de RSU, consultando en trabajos previos los procesos de selección de estos.

Identificar las características y especificaciones tecnológicas de las máquinas y equipos utilizados en el proceso de separación de los RSU, para minimizar el volumen de los residuos que ingresan y salen en la planta.

Formular las instalaciones para la operación, distribución y señalización de la planta, para determinar los elementos tecnológicos que contiene dicha planta receptora y procesadora de RSU.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Marco histórico

Desde el principio de los tiempos el hombre ha generado residuos, debido a sus actividades cotidianas. Con el descubriendo de la agricultura el hombre crea asentamientos y pequeñas poblaciones que con el paso del tiempo están se convirtieron en grandes urbanizaciones. Paralelamente a este crecimiento la humanidad tuvo que ir evolucionando exponencialmente, lo cual trajo consigo que el hombre explotara y transformara los recursos naturales de manera más elaborada. esto dio paso al desarrollo de la metalurgia, la alfarería, la producción de productos químicos como el plástico, y su comercialización. Todo este tipo de actividades trajo consigo la generación de residuos y la dificultad para su eliminación. Esto dio paso a la creación de los primeros vertederos para la disposición final de los desperdicios.

Estos vertederos estaban cerca de las ciudades, lo que ocasionaba nuevos problemas como roedores y transmisión de enfermedades; esta época se conoce como revolución industrial. Además, en este periodo se generaron nuevos tipos de residuos por el avance tecnológico de la época, por lo que la gestión para el manejo de los residuos sólidos era insuficiente [2]. Todos los problemas asociados al control y manejo de los residuos sólidos trajeron consigo que se planteara la necesidad de tener un sistema que mitigue estos inconvenientes, tanto de higiene como ambientales. Por esto, desde los años 70 se da inicio al modelo de Manejo Integrado de los Residuos Sólidos Urbanos, lo que trajo consigo nuevos procesos para el tratamiento de estos, además de una conceptualización y caracterización de los RSU [2]. Con esto se llega a este tiempo en el que pocos países cuentan con plantas tecnológicas para procesar las basuras originadas en sus ciudades. Por otro lado, muchas ciudades de Colombia aun no tienen este tipo de instalaciones, lo que conlleva a que se tenga un procesamiento de residuos sólidos deficiente.

En la ciudad de Pereira se comienza a reciclar en 1985, año en el cual se abre el relleno sanitario San Joaquín, este estuvo en funcionamiento por 11 años y se especula que su espesor fue de 25 metros de residuos sólidos. Después, en el año 1997, se pone en funcionamiento el relleno sanitario La Glorita, con una proyección de vida útil de 13 años. Al ser tan baja, comenzaron a gestionar estrategias de reciclaje para prolongar la vida del este relleno. Este relleno fue operado por la Empresa de Aseo de Pereira hasta el año 2007; en este espacio de tiempo se dispuso un total de 1.300.000 toneladas, con un promedio diario de 350 toneladas

[3]. La consultora Planeta Vital S.A. ESP realiza un estudio de caracterización de los residuos sólidos domiciliarios en el año 2005. Este estudio arrojó como resultado una producción per cápita de 0.54 kg /hab-día, En el año 2015 la producción per cápita de residuos sólidos fue de 1.08 kg/hab-día según el reporte de la Alcaldía de Pereira [1].

2.2. Marco legal

En Colombia existe la normatividad para los RSU, como decretos y leyes como se observa en la tabla 1. Además, también está establecida la Guía Técnica GTC 24 para la gestión ambiental de residuos sólidos y la GTC 86 para la gestión integral de residuos. Estas normas abarcan desde la producción en los hogares hasta su almacenamiento, disposición final, aprovechamiento, etc. Por último, el Ministerio de Vivienda ofrece una presentación llamada “Guía de Planeación Estratégica para el Manejo de los Residuos Sólidos de Pequeños Municipios en Colombia”, donde se plantean estrategias por medio de ejemplos de lo que podrían estar compuestos los residuos y cómo se deben clasificar. De lo anterior se resume la clasificación según las normas.

Tabla 1.
Normatividad nacional acerca de los RSU

NORMA	DESCRIPCIÓN
Constitución Política de Colombia de 1991	El título II, Capítulo III, Artículo 80 , dispone “El estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución”. “Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados”
Decreto Ley 2811 de 1974	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Artículo 25: En el presupuesto nacional se incluirá anualmente una partida especial exclusivamente a financiar los programas o proyectos de preservación ambiental. Artículo 34: En el manejo de residuos, basuras, desechos y desperdicios, se observarán las siguientes reglas: sobre métodos acerca de tecnologías para recolección, tratamiento, procesamiento o disposición final de residuos, basuras, desperdicios y en general de desechos de cualquier clase, la investigación científica y técnica se fomentará. Artículo 36: Para la disposición o procesamiento final de las basuras se utilizarán preferiblemente, los medios que permitan: Evitar el deterioro del ambiente y de la salud humana, reutilizar sus componentes, producir nuevos bienes, restaurar o mejorar los suelos.
Ley 99 de 1993	El Artículo 2 regula: “las condiciones generales para el saneamiento del medio ambiente, y el uso, manejo, aprovechamiento, conservación, restauración y recuperación de los recursos naturales, a fin de impedir, reprimir, eliminar o mitigar el impacto de actividades contaminantes, deteriorantes o destructivas del entorno o del patrimonio natural”
Resolución 142 de 1994	Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos y se dictan otras disposiciones” cita en el Artículo 14 numeral 14.24 , que: el tratamiento, aprovechamiento y disposición final de los residuos sólidos son actividades complementarias del servicio público domiciliario de aseo.

Decreto Nacional 838 de 2005	<p>Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones. En su Artículo 44, menciona que: “la recolección de escombros es responsabilidad de los generadores en cuanto a su recolección, transporte y disposición en las escombreras autorizadas”. “El Municipio y las personas prestadoras del servicio de aseo son responsables de coordinar estas actividades en el marco de los programas establecidos para el desarrollo respectivo de Plan de Gestión Integral de Residuos sólidos -PGIRS-</p>
Ley 142 de 1994	<p>Régimen de servicio públicos domiciliarios, de la cual también se desprende el Decreto 1713 de 2002 por el cual se reglamenta la 142 de 1994, la ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación de servicios del servicio público de aseo y el decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos. El objeto de esta ley es propender por la prestación eficiente de estos servicios, para lo cual fija normas que aseguran su prestación continua de ininterrumpida, incentiva la participación del sector privado para garantizar la libre competencia y establece un régimen tarifario basado en el criterio de eficiencia, además de crear entes e instituciones dirigidas a la atención de los servicios públicos</p>
Decreto de ley 605 de 1996	<p>Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994 en relación con la prestación del servicio público domiciliario de aseo. Define cada ítem del manejo integral del servicio de aseo como su almacenamiento, establecimiento de rutas, protocolos, características de los vehículos transportadores y los correspondientes para el aseo de un barrio y limpieza de áreas públicas.</p>
Ley 388 de 1997	<p>Hace parte de la ley de ordenamiento territorial, hace un pequeño apartado donde se denomina localizar y señalizar las características de la infraestructura para el transporte, los servicios públicos domiciliarios, la disposición y tratamiento de los residuos sólidos, líquidos, tóxicos y peligrosos y los equipamientos de servicios de interés público y social, tales como centro docentes y hospitalarios, aeropuertos y lugares análogos.</p>
Ley 9 de 1979	<p>Código Sanitario Nacional, que dicta medidas de orden sanitario que complementan la regulación del medio ambiente y manejo de los recursos naturales, mediante el establecimiento de un ordenamiento jurídico en tres áreas claramente definidas: Saneamiento Ambiental, Atención a las personas y Vigilancia y Control Sanitario.</p>
Decreto 26 95 de 2000	<p>Por el cual se reglamenta el artículo 2 de la ley 511 de 2000 en cuanto al establecimiento de la condecoración del reciclador. Se establece categorías para acceder al mencionado título honorífico, los requisitos y el procedimiento para otorgarlos a las personas naturales o jurídicas que se hayan distinguido por desarrollar una o varias actividades de recuperación y/o reciclaje de residuos.</p>

Fuente: Selección realizada por los autores con base a la Constitución Política de Colombia. Pereira.2020.

• Norma Técnica Colombiana GTC 86

El aprovechamiento de los residuos depende, en gran medida, de su estado de limpieza y mezcla. Por ejemplo, el reciclaje de papel se posibilita cuando el papel que se va a reciclar no está contaminado con otros residuos, tales como alimentos.

Los residuos se deberían separar por lo menos en aprovechables y no aprovechables, sin embargo, debería tratar de hacerse la separación de los residuos en tantos contenedores como tipos de residuos existan, de manera apropiada, según su aprovechamiento. Así, por ejemplo, se podría separar por color el vidrio en un contenedor, en otro papel y, en otro, plástico y así

consecutivamente con todos los tipos de residuos, para facilitar su aprovechamiento y aun su tratamiento. Esta misma norma nos redirecciona a la GTC 24 donde se presentan las pautas para realizar dicha separación.

- **Norma Técnica Colombiana GTC 24**

Esta norma plantea los criterios de separación en la fuente para el generador de residuos como se describe en la tabla 2, con la intención seleccionarlos y almacenarlos en recipientes o contenedores para facilitar su posterior transporte, aprovechamiento, tratamiento o disposición final.

Tabla 2.
Separación General de los RSU

Sector	Tipo de residuo	Color
Domestico	Aprovechables	Blanco
	No aprovechables	Negro
	Orgánicos biodegradables	Verde
Industrial, comercial institucional y de servicios	Cartón y papel	Gris
	Plásticos	Azul
	Vidrio	Blanco
	Orgánicos	Crema
	Residuos Metálicos	Café Oscuro
	Madera	Naranja
	Ordinarios	Verde

Fuente: Norma Técnica Colombiana GTC 24. Gestión ambiental. Residuos sólidos. Guía para la separación en la fuente. INCONTEC. 2009. Pag 5.

Para las actividades de clasificación se recomienda tener en cuenta los criterios de separar residuos peligrosos de los no peligrosos, clasificar los residuos no peligrosos, orientar el tipo de acopio y clasificación teniendo en cuenta adicionalmente las recomendaciones o condiciones del recolector y manejar los residuos peligrosos de acuerdo con la legislación vigente aplicable. La orientación para la clasificación de residuos en la fuente se presenta en la tabla 3.

Tabla 3.
Clasificación específica de los RSU

Tipo de residuo	Clasificación	Ejemplos
Residuos no peligrosos	Aprovechable	Cartón y papel (hojas, plegadiza, periódico, carpetas)
		Vidrio (botellas, recipientes)
		Plásticos (bolsas, garrafas, envases, tapas)
		Residuos metálicos (chatarras, tapas, envases)
		Textiles (ropa, limpiones, trapos)
		Madera (aserrín, palos, cajas, guacales, estibas)

	Cuero (ropa, accesorios) Empaques compuestos (cajas de leche, cajas, jugo, cajas de licores, vasos y contenedores desechables)
No aprovechables	Papel tissue (papel higiénico, paños húmedos, pañales, toallas de mano, toallas sanitarias, protectores diarios) Papeles encerados, plastificados, metalizados Cerámicas Vidrio plano Huesos Material de barrido Colillas de cigarrillo Materiales de empaque y embalaje sucios
Orgánico biodegradables	Residuos de comida Cortes y podas de materiales vegetales Hojas secas
Residuos peligrosos	A nivel doméstico se generan algunos de los siguientes residuos peligrosos: Pilas, lámparas fluorescentes, aparatos eléctricos y electrónicos. Productos químicos varios como aerosoles inflamables, solventes, pinturas, plaguicidas, fertilizantes, aceites y lubricantes usados, baterías de automotores y sus respectivos envases o empaques. Medicamentos vencidos. Residuos con riesgo biológico tales como: cadáveres de animales, y elementos que ha entrado en contacto con bacterias, virus o microorganismos patógenos, como agujas, residuos humanos, limas, cuchillas, entre otros. Para el manejo de estos residuos se recomienda no mezclarlos e informarse acerca de diferentes entidades que se encargan de su gestión. A nivel industrial, institucional y comercial está reglamentado con base a la legislación vigente.
Residuos Especiales	Escombros Llantas usadas Colchones Residuos de gran volumen como, por ejemplo: muebles, estanterías, electrodomésticos para el manejo de estos residuos se recomienda informarse acerca de servicios especiales de recolección establecidos.

Se recomienda que los envases estén enjuagados y secos para garantizar su valoración

NOTA 1 Para que los residuos no sean clasificados como peligrosos no pueden estar impregnados o haber estado en contacto con sustancias clasificadas como peligrosas.

Fuente: Norma Técnica Colombiana GTC 24. Gestión ambiental. Residuos sólidos. Guía para la separación en la fuente. INCONTEC. 2009. Pag 7.

2.3. Marco teórico

La clasificación y tratamiento de los residuos sólidos urbanos han tenido distintas teorías que estudian la gestión de residuos sólidos y el impacto ambiental que ocasionan. No obstante, para comprender cada una de ellas, es importante definir algunos conceptos claves en el tema de estudio. Entre los cuales se encuentran: gestión integral de residuos sólidos, residuos sólidos urbanos, los tipos de residuos sólidos urbanos, así como los procesos de selección y los materiales recuperables de los residuos sólidos urbanos.

- **Gestión integral de residuos sólidos urbanos.**

La conceptualización de la gestión integral de los residuos sólidos es comprendida como la disciplina relacionada con el adecuado manejo de los residuos. Esta consta del control de la generación, almacenamiento, recogida, transferencia y transporte, procesamiento y evacuación de los residuos, teniendo en cuenta los principios de salud pública, la economía, la estética, la ingeniería y de la conservación ambiental. También se tienen que considerar todas las funciones administrativas, financieras, legales, de planificación y de ingeniería que intervienen en la solución de los problemas que traen consigo los desperdicios [2]. Esto quiere decir que la gestión integral de residuos abarca las diferentes métodos y procesos que se han venido desarrollando a largo del tiempo, por estudios realizados a la trayectoria que siguen los residuos sólidos desde la generación, hasta la administración para el manejo idóneo. Cumpliendo con los decretos y leyes establecidas por cada región.

- **Actividades en la gestión integral de residuos sólidos**

La gestión integral de residuos sólidos sustenta cada actividad asociada al flujo del manejo de los residuos sólidos. Entre estas actividades están la separación, procesamiento y transformación de residuos sólidos, las cuales son propuesta por George Tchobanglous [4], como uno de los elementos funcionales de un sistema de gestión de residuos, y se presenta a continuación:

Separación, procesamiento y transformación de residuos sólidos: ...La recuperación de materiales separados, la separación y el procesamiento de los componentes de los residuos sólidos, y la transformación del residuo sólido, que se produce principalmente en localizaciones fuera de la fuente de generación de residuos, están englobados en este elemento funcional. Los tipos de medios e instalaciones utilizados en la actualidad para la recuperación de materiales residuales que han sido separados en el origen incluye la recogida en la acera, los centros de

recogida selectiva y los centros de compra. La separación y el procesamiento de residuos sólidos no seleccionados normalmente tiene lugar en instalaciones de recuperación de materiales, estaciones de transferencia, instalaciones de incineración y lugares de evacuación. El procesamiento frecuente incluye: la separación de objetos voluminosos; la separación de los componentes de los residuos sólidos, por tamaño, utilizando cribas; la separación manual de los componentes de los residuos; la reducción del tamaño, mediante trituración; la separación de metales férricos, utilizando imanes; la reducción del volumen por compactación, y la incineración [4].

En este apartado se resalta todo el manejo que tienen los residuos sólidos, desde la administración y gestión hasta los procesos de transformación que tienen los RSU, donde se hace una separación de materiales recuperables para disminuir su volumen y seguir con la trayectoria hacia la eliminación o su disposición final en los dispositivos de rellenos sanitarios.

- **Residuos Sólidos Urbanos (RSU).**

Antes de definir residuos sólidos urbanos se tiene que definir lo que es un residuo. No es complejo tener una definición de lo que es un residuo. Sin embargo, en cada país existe una legislación que tienen su propia definición de “residuo”. Por ende, hay discrepancia en el concepto debido a las diferentes interpretaciones de cada lugar. El diccionario de la Real Academia de la Lengua Española tiene la siguiente definición de residuo:

- *Parte o proporción que queda de un todo.*
- *Lo que resulta de la descomposición o destrucción de una cosa.*
- *Material que queda como inservible después de haber realizado un trabajo u operación.*

Entonces, los residuos pueden surgir de diferentes procesos, pero en sí es lo que ya no se necesita, el sobrante, el desperdicio, etc., dependiendo de la actividad que se realice. Ahora bien, los RSU están definidos como los desperdicios que se generan en las urbanizaciones. Se consideran los producidos en los domicilios particulares, comercio, oficinas y servicios, pero no los residuos peligrosos. También se deben establecer entre: los despojos que son procedentes de la limpieza de vías públicas, del mantenimiento de zonas verdes o lugares de

actividades recreativas y playas. También, animales domésticos muertos, escombros procedentes de pequeñas obras de construcción en los hogares de personas particulares [4].

- **Clasificación de RSU**

Dependiendo de la fuente de los residuos sólidos en una comunidad se producen ciertos tipos de residuos con unas características particulares en su composición. Uno de ellos son los RSU, los residuos industriales y agrícolas. Los RSU son los producidos en los hogares, locales comerciales e institucionales, construcciones y demolición, servicios como limpieza y poda de zonas verdes y recreativas, así como plantas de tratamiento. Como los clasifica Tchobanogluos [4]. Expuesto a continuación en la tabla 4.

Tabla 4.
Fuentes de residuos sólidos en la comunidad

Fuente	Instalaciones, actividades o localizaciones donde se generan	Tipos de residuos solidos
Doméstica	Viviendas aisladas y bloques de baja, mediana y elevada altura, etc., unifamiliares y multifamiliares.	Residuos de comida, papel, cartón, plásticos, textiles, cuero, residuos de jardín, madera, vidrio, latas de hojalata, aluminio, otros metales, cenizas, hojas en la calle, residuos especiales (artículos voluminosos, electrodomésticos, bienes de línea blanca, residuos de jardín recogidos, pilas, aceite, neumáticos), residuos domésticos peligrosos.
Comercial	Tiendas, restaurantes, mercados, edificios de oficinas, hoteles, moteles, imprentas, gasolineras, talleres mecánicos, etc.	Papel, cartón, plásticos, madera, residuos de comida, vidrio, metales, residuos especiales (ver párrafo superior), residuos peligrosos
Institucional	Escuelas, hospitales, cárceles, centros gubernamentales.	(como en comercial)
Construcción y demolición	Lugares nuevos de construcción, lugares de reparación/renovación de carreteras, derribos de edificios, pavimentos rotos.	Madera, acero, hormigón, suciedad, etc.
Servicios municipales (excluyendo plantas de tratamiento)	Limpieza de calles, paisajismo, limpieza de cuencas, parques y playas, otras zonas de recreo.	Residuos especiales, basuras, barraduras de la calle, recortes de árboles y plantas, residuos de cuencas, residuos generales de parques, playas y zonas de recreo.
Planta de tratamientos; incineraciones municipales	Agua, aguas residuales y procesos de tratamientos industriales, etc.	Residuos de plantas de tratamiento, compuestos principalmente de fangos.
Residuos sólidos urbanos	Todos los citados.	Todos los citados.

Fuente: TCHOBANOGLOUS. GEORGE, THEISEN HYLARY & VIGIL. SAMUEL A. Gestión integral de Residuos Sólidos. Segunda edición. Editorial McGraw Hill. México. 2000. Pág. 47.

Los residuos, que dependiendo de la fuente varían en sus componentes, pueden tener mayor o menor número de materiales recuperables, como es el caso de la fuente comercial o institucional. Cada fuente tiene un rasgo distintivo en el tipo de residuos generados y en su cantidad; esto se tratará más adelante.

- **Componentes de los RSU.**

Los RSU están compuestos por diferentes materiales que son utilizados en la vida cotidiana en las casas de familia, locales comerciales, etc., como lo son los plásticos, vidrios, materia orgánica, metales, cartón y papel. El porcentaje de cada material depende de la fuente de origen, el país, los sectores de las ciudades y el poder adquisitivo de las habitantes. entre otros.

Tabla 5.
Componentes de los residuos sólidos domésticos para los países de bajos, medianos y altos ingresos, excluyendo materiales reciclados

Componente	Países de bajos ingresos	Países de medianos ingresos	Países de altos ingresos
Orgánicos			
Residuos de comida	40-85	20-65	6-30
Papel	1-10	8-30	20-45
Cartón	1-10	8-30	5-15
Plásticos	1-5	2-6	2-8
Textiles	1-5	2-10	2-6
Goma	1-5	1-4	0-2
Cuero	1-5	1-4	0-2
Residuos de jardín	1.5	1-10	10-20
Madera	1.5	1-10	1-4
Orgánicos misceláneos	--	---	--
Inorgánicos.			
Vidrio	1-10	1-10	4-12
Latas de hojalata	--	--	2-8
Aluminio	1-5	1-5	0-1
Otros metales	--	--	1-4
Suciedad, cenizas, etc.	1-40	1-30	0-10

Fuente: TCHOBANOGLOUS. GEORGE, THEISEN HYLARY & VIGIL. SAMUEL A. Gestión integral de Residuos Sólidos. Segunda edición. Editorial McGraw Hill. México. 2000. Pág. 58.

Según la tabla 5, los países de bajos ingresos son los que tienen un mayor porcentaje de residuos de comida. Los estados con altos ingresos son países industrializados. Por tal motivo producen mayor porcentaje en componentes como en los textiles, papel, plástico, entre otros.

- **Materiales recuperables de los RSU**

Un gran número de materiales de los RSU son reciclables, los cuales sirven como materia prima de nuevos productos, Por ejemplo, la materia orgánica, que se puede utilizar para base de un compost, metales, plásticos, vidrios y papel son algunos de las materias que se recuperan con frecuencia de los desechos que componen los RSU. En la tabla 6 se aprecia los tipos de materiales recuperados.

Tabla 6.
Materiales que se han recuperado de los RSU para su reciclaje

Material reciclable	Tipos de materiales y usos
Aluminio	Latas de cerveza y refrescos
Papel	
Papel de periódico usado (PPU)	periódicos de quiosco o entregados a casa.
Cartón ondulado	Empaquetamientos en bruto; la mayor fuente de papel residual para el reciclaje
Papel de alta calidad	Papel de informática, hojas de cálculo blanco, recortes
Papel mezclado	Varias mezclas de papel limpio, incluyendo papel de periódico, revistas, y papel de fibras largas blanco o coloreado
Plástico	
Polietileno tereftalato (PET/1)	Botellas de refrescos, botellas de mayonesa y aceite vegetal; película fotográfica
Polietileno de alta densidad (PE-HD/2)	Bidones de leche, contenedores de agua, botellas de detergente y de aceite de cocina
Polietileno de baja densidad (PE-BD/4)	Envases de película fina y rollos de película fina para envolturas; bolsas de limpieza en seco y otros materiales de película.
Polipropileno (PP/5)	Cierres y etiquetas para botellas y contenedores, cajas de materias, envolturas para pan y queso, bolsas para cereales
Poliestireno (PS/6)	Envases para componentes electrónicos y eléctricos, cajas de espuma, envases para comida rápida; cubiertos, vajillas y platos para microondas
Multilaminados y otros Plásticos mezclados	Envases Multilaminados, botellas de ketchup y mostaza
Vidrio	Diversas combinaciones de lo anteriormente mencionado
Metal férreo	Botellas y recipientes de vidrio blanco, verde y ámbar
Metales no férreos	Latas de hojalata, bienes de línea blanca y otros productos
Residuos de jardín, recogidos separadamente	Aluminio, cobre, plomo, etc.
Fracción orgánica de los RSU	Utilizados para preparar compost para aplicaciones de suelo; compost utilizado como cubrición intermedia de vertedero
Residuos de construcción y demolición	Utilizados para preparar compost para aplicaciones de suelo; compost utilizado como cubrición intermedia de vertedero; metano; etanol y otros compuestos orgánicos; combustible derivados de residuos (CDR)
Madera	Suelo, asfalto, hormigón, madera, cartón de yeso, grava, metales
Aceite residual	Materiales para empaquetamientos, pallets, restos y madera usada de proyectos de construcción de carreteras; combustible derivados de residuos (CDR)
Neumáticos	Aceite de automóviles y camiones; reprocesado para reutilización o como combustible
Baterías de plomo	Neumáticos de automóviles y camiones; material de construcción de carreteras; combustibles
Pilas domésticas	Materias de automóviles y camiones; trituradas para recuperar componentes individuales como ácido, plástico y plomo
	Potencial para recuperación de zinc, mercurio y plata.

Fuente: TCHOBANOGLIOUS. GEORGE, THEISEN HYLARY & VIGIL. SAMUEL A. Gestión integral de Residuos Sólidos. Segunda edición. Editorial McGraw Hill. México. 2000. Pág. 69-70.

- **Tecnologías de procesamiento y separación de materiales de RSU**

Estos procesos cambian la composición física o química de los diferentes materiales integrantes de los RSU. Dependiendo del tipo de material que se quiere separar, se utiliza uno o más procesos para lograr el objetivo de recuperar componentes o simplemente reducir el volumen de la masa para facilitar el transporte o la disposición final. La tabla 7 describe las alternativas y métodos implementados para el procesamiento.

Tabla 7.
Métodos utilizados para el procesamiento y la recuperación de componentes individuales de residuos a partir de RSU

Alternativa de procesamiento	Descripción
Reducción de tamaño	Proceso unitario utilizado para la reducción de los RSU no seleccionados y de los materiales recuperados. Las aplicaciones típicas incluyen: 1) molinos de martillos, para la trituración de los RSU no seleccionados; 2) trituradores cortantes, para RSU no seleccionados y materiales reciclados, tales como aluminio, neumáticos y plásticos, y 3) cubas trituradoras, utilizadas para procesar residuos de jardín.
Separación por tamaño	Proceso unitario por el que se separan los materiales según sus características de forma y tamaño, normalmente mediante el uso de cribas. frecuentemente se usan varios tipos de cribas, incluyendo: 1) cribas vibratorias, para la selección por tamaño de residuos de jardín triturados; 2) trómeles, utilizados para la separación RSU no Seleccionados antes de su trituración, y 3) cribas de discos, utilizadas para separar vidrio de los RSU no triturados.
Separación por densidad	Procesos unitarios por los cuales se separan los materiales según su densidad. Las aplicaciones típicas incluyen: 1) clasificadores neumáticos, Para preparación de CDR; no seleccionados, y 3) flotación, para el procesamiento de escombros de construcción.
Separación por campo eléctrico y magnético	Procesos unitarios en los que los materiales se separan según su carga electrostática y su permeabilidad magnética. las aplicaciones típicas incluyen: 1) la separación de plásticos y papel, y 2) la separación de materiales féreos y no féreos (Por ejemplo, botes de hojalata y botes de aluminio.
Densificación (compactación)	la densificación o compactación son procesos unitarios utilizados para incrementar la densidad de los materiales recuperados con el fin de reducir los costes de transporte y de simplificar el almacenamiento. las aplicaciones típicas incluyen: 1) la utilización del embalaje para cartón, papel, plástico y latas de aluminio, y 2) el uso de la feliz paletización para la producción de CDR densificado.
Manipulación de materiales	Procesos unitarios utilizados para el transporte y el almacenamiento de RSU y materiales recuperados. las aplicaciones típicas incluyen: 1) transportadoras para el traslado de RSU y materiales recuperados; 2) contenedores de almacenamiento para los materiales recuperados, y 3) equipamiento, como elevadoras, palas frontales y Tipos de camiones para el transporte de RSU y materiales recuperados.

Fuente: TCHOBANOGLOUS. GEORGE, THEISEN HYLARY & VIGIL. SAMUEL A. Gestión integral de Residuos Sólidos. Segunda edición. Editorial McGraw Hill. México. 2000. Pág. 612.

Dependiendo del objetivo del proceso a realizar a los RSU, se utilizan diferentes tipos de máquinas y equipos. Cuando se quieren utilizar los residuos como combustibles (CDR) para la incineración, se utilizan separadores por densidad como los clasificadores neumáticos, y

la separación de componentes magnéticos para recuperar los metales ferrosos para su reutilización como materia prima para nuevos productos.

2.4. Formulación del estado del arte de los residuos sólidos urbanos

Se han desarrollado diferentes estudios sobre la gestión integral de residuos sólidos, los cuales buscan alcanzar un conocimiento crítico sobre el manejo de los RSU. Estas investigaciones consideran las diferentes variables del problema.

2.4.1. Diagnostico internacional

Sáez y Urdaneta [5] describen la situación del manejo de residuos en América Latina y El Caribe, mediante una revisión documental de artículos científicos que describen las realidades de diferentes países presentadas por los distintos autores en el manejo de residuos sólidos.

Se dice que los residuos sólidos municipales tienen un alto contenido de materia orgánica, con más del 50 % en promedio en América Latina, y que el porcentaje de los materiales recuperables es relativamente bajo, debido a que en muchos países los materiales reciclables son recobrados por sectores informales. Los estudios de la composición, clasificación y caracterización de los residuos sólidos son relevantes para diseñar los sistemas de tratamiento de los mismos.

El tratamiento de separación de componentes que reciben los residuos sólidos en los países latinoamericanos y El Caribe realizado por el sector formal es muy reducido. A pesar de que el mayor porcentaje es de materia orgánica, esta no tiene una alta participación de utilización para la creación de compost. En la mayoría de los países están orientados a reciclar el papel y el cartón. También, se tiene una tendencia de crecimiento a la recuperación del plástico.

En conclusión, los sistemas del manejo de residuos sólidos en América Latina y El Caribe no están siendo integrales ni sustentables. Debido a las otras necesidades que tienen estos países, se destinan pocos recursos a esta problemática. Además, la falta de voluntad de los gobiernos y los ciudadanos hace que sea difícil el tratamiento óptimo de los desperdicios.

2.4.2. Diagnostico nacional.

Colombia ha asumido el compromiso del cuidado del medio ambiente. Como consecuencia, algunas corporaciones, universidades y administraciones públicas han realizado estudios y ejecutados proyectos respecto a lo referente a los RSU en Colombia.

- **Universidad Tecnológica de Pereira-2004**

Olaya, Klinger y Delgado en un artículo para la revista Scientia Et Technica [6], en el cual, emplean un método aleatorio para caracterizar los residuos sólidos que genera una planta industrial en Colombia como un subproducto del proceso. En la actualidad estos residuos se están disponiendo inadecuadamente, aunque se cree que podrían ser utilizados, al menos parcialmente, como materias primas en otros procesos. Este artículo se refiere en particular al procedimiento para elegir muestras de los diferentes residuos sólidos del proceso, para su posterior caracterización, la cual conducirá a identificar sus usos potenciales o recomendará su adecuada disposición. Se analizan los resultados del análisis elemental y se evalúa el plan de muestreo aplicado para lograr su caracterización.

- **Universidad de Antioquia-2009**

Klinger, Olaya, Marmolejo y Madera en un artículo para la revista de la Facultad de Ingeniería [7], proponen un plan de muestreo para ciudades de tamaño mediano, que inicia con un muestreo bietápico piloto que conduce a una estimación del tamaño de muestra cuando se utiliza un estimador de razón. La muestra bietápica utiliza el lado de manzana como unidad primaria de muestreo seguida de las viviendas como unidades secundarias, a partir de un marco muestral, conformado por los lados de la manzana para satisfacer un error muestral del 5% con un nivel de confianza del 95%. El propósito de este trabajo es presentar el diseño del plan de muestreo y su ejecución y ponerlo como método utilizable para determinar la cantidad de generación de residuos sólidos de origen residencial en ciudades de tamaño similar en países en vía de desarrollo.

- **Universidad Nacional Abierta y a Distancia-2015**

Vargas en su proyecto de grado [8], busca desarrollar la Planta de Manejo Integral de Residuos Sólidos – PMIRS en el municipio de Restrepo, Valle del Cauca, el cual tiene como fin buscar una salida a la problemática del manejo de los residuos sólidos y por ende a la contaminación del aire, agua y suelo: Lo anterior, desde un enfoque administrativo, contable

y de negocios. El proyecto consta de un análisis administrativo con un enfoque hacia el control y papeleo correspondiente al manejo de una planta.

- **Universidad Tecnológica de Pereira-2016**

Investigación enfocada a la identificación de la problemática ambiental de la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) en el municipio de Pereira, con el fin de evaluar y conocer cómo ha sido su dinámica histórica, las medidas políticas, económicas y normativas, y cómo han configurado la situación actual de la gestión del territorio, desde la perspectiva de los actores territoriales que median el ámbito social [3].

- **Universidad Militar Nueva Granada-2017**

León en su trabajo pretende demostrar la importancia de la implementación de una planta para el tratamiento de los residuos sólidos en el municipio de Cajicá [9], iniciando a nivel municipal y buscando que se propague a nivel nacional, teniendo en cuenta que además de proporcionar alivio al medio ambiente, también pueda generar recursos económicos que a su vez pueden ser utilizados para mejorar la calidad de vida de los habitantes del municipio.

3. RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN PEREIRA

3.1 Clasificación de los residuos sólidos

La siguiente clasificación de los residuos sólidos sirve como una guía para comprender mejor las características de estos. Se pueden establecer tres fuentes de generación de residuos sólidos. Industrial, como las empresas manufactureras, constructoras, refinerías entre otras. Agrícolas, a las cuales pertenecen los viñedos, ganadería, granjas, etc., Finalmente, los RSU, cuya procedencia es doméstica, comercial, institucional y de servicios municipales. Debido a que en este trabajo se formula el diseño para una planta de procesamiento de RSU, solo se van a considerar los siguientes.

3.1.1. Residuos domésticos y comerciales

El porcentaje de producción de los residuos orgánicos domésticos producidos en Pereira, según el estudio realizado por la Empresa de Aseo de Pereira S.A E.S.P., es de un 71% (104,58 t/día) en el año 2014 [3]. El resto es de la parte inorgánica. Existen otros tipos, los residuos sólidos especiales de origen doméstico, que incluyen los artículos voluminosos, los electrodomésticos y productos de línea blanca como neveras. Los residuos sólidos peligrosos

se caracterizan por presentar una amenaza sustancial, presente o potencial, a la salud del medio ambiente y a los seres vivos. Cuando se tiene una composición de residuos domésticos y comerciales se consideran como RSU domésticos y comerciales no seleccionados [4]. En la tabla 8 se muestra la cantidad producida de los residuos sólidos domésticos y comerciales, además del porcentaje de los tipos de residuos que componen a los RSU generados en la ciudad de Pereira.

Tabla 8.
Composición física de los RSU en la ciudad de Pereira según tipo de material año 2014.

Tipo de residuo	Generación [t/día]	Biodegradable [t/día]	Papel, cartón [t/día]	Plástico [t/día]	Textil [t/día]	Metal [t/día]	Vidrio [t/día]	Madera [t/día]	Otro [t/día]
Doméstico	148.9	105	16.3	15.5	1.7	1.6	5.7	0.5	3.0
Comercial	119.6	21.9	37.7	11.0	0.2	0.8	14.8	0.7	32.5
Municipal	38.9	4.7	5.1	3.7	0.2	0.4	2.4	0.4	21.8
Industrial	102.9	5.1	41.6	5.0	38.4	0.0	0.2	0.0	12.6
Total	410.26	136	101	35	41	3	23	2	70

Fuente: SAENZ BECERRA MARIA, VELEZ CASTAÑO DANNY. Evaluación Administrativa de la Gestión Integral de Residuos Sólidos en el Municipio de Pereira, A partir de la Planeación Estratégica Situacional. Caso de Estudio: Empresa de Aseo de Pereira S.A E.S.P. Pereira. 2016. Pág. 36

De la tabla 8 se puede observar que el mayor productor de residuos sólidos es de la zona residencial con 148.9 t/día, de los cuales el 71% (104.58 t/día) son residuos biodegradables. A esta le sigue el sector comercial con 119.6 t/día y el sector industrial con 102.9 t/día, el cual tiene la mayor cantidad de producción de residuos de papel y cartón 41.9 t/día (49%). Al observar la tabla 8, la producción de residuos sólidos fue de 410.26 t/día, de los cuales el 33% (136 t/día) fueron desperdicios biodegradables, seguidos de los de papel y cartón con una fracción de 25% (101 t/día). En el tercer lugar se encuentra la generación de plásticos con 10% (41 t/día). Debido a que en las zonas residenciales y establecimientos de Pereira no se tiene una separación previa entre los desechos orgánicos y los inorgánicos, estos se consideran como RSU domésticos y comerciales no seleccionados.

3.1.2. Residuos institucionales

Estos residuos son provenientes de instituciones como centros administrativos, educativos, cárceles, hospitales, pero descartando los residuos sanitarios de hospitales o residuos peligrosos, los cuales deben ser incinerados.

La central minorista Impala es una plaza de mercado y es una de las instituciones que genera cerca de 4,8 t/día de residuos sólidos, los cuales son destinados para disposición final en el relleno sanitario La Glorita. Alrededor de 4,4 t/día (93% son residuos biodegradables) y 0,33 t/día representan otro tipo de residuos, de los cuales 0,12 t/día (cartón), según el reporte de la Alcaldía de Pereira en el año 2015 en la Actualización de PIRGS 2015-2027 [1].

3.1.3. Residuos de construcción y demolición

Los residuos de construcción son los provenientes de remodelaciones o construcciones de viviendas individuales, establecimientos comerciales y otros tipos de estructuras [4]. Es complicado estimar las cantidades generadas por sus componentes ásperos, pero entre ellos se encuentra el hormigón, arena, suciedad, madera y metales como hierro, aluminio y cobre. Los desperdicios de la demolición de grandes obras civiles como edificios, calles levantadas, puentes, y demás construcciones son clasificados como residuos de demolición. Los materiales encontrados en su composición son iguales a los de la construcción; además de ellos se encuentran vidrios rotos, tubos de PVC, ladrillos rotos, cerámica de baños y pisos, entre otros. No se encuentran datos exactos sobre la generación de Residuos de Construcción y Demolición (RCD). Esto se debe a que en el municipio de Pereira no se han utilizado instrumentos como básculas que permitan estimar la cantidad generada, según lo afirmó la Secretaría de Planeación Municipal.

3.1.4 Residuos de servicios municipales

Estos residuos sólidos se derivan del mantenimiento que se realiza a las zonas públicas municipales como parques, barredoras de calles, contenedores de residuos, recorte de áreas verdes y animales muertos, entre otros. Algunos residuos de servicios municipales son generados por el corte de césped y poda de árboles en la ciudad de Pereira; dichas actividades originan 15.000 metros cúbicos de residuos de corte de césped anuales y 9.400 metros cúbicos de residuos de poda de árboles anuales según reportó la Alcaldía de Pereira en la Actualización Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipio de Pereira – PGIRS 2015–2027 [1].

3.2. Propiedades y estructuras de los RSU

Es importante conocer las propiedades físicas y químicas de los RSU para lograr diseñar sistemas de procesamiento y separación de estos.

3.2.1 Propiedades físicas de los RSU

Sin tener en cuenta los residuos peligrosos que están en los RSU, se tiene que algunas de las características más relevantes para el desarrollo de tecnologías de procesamiento son el peso específico, contenido de humedad, tamaño de partículas y distribución del tamaño. Debido a que los componentes de los RSU no varían en forma significativa, como si lo hacen sus cantidades dependiendo de la fuente de generación, la tabla 9 muestra el peso específico y contenido de humedad para residuos sólidos domésticos y comerciales.

Tabla 9.
Datos típicos de peso específico y contenido de humedad de residuos domésticos

Tipos de residuos solidos	Peso específico, kg/m ³		Contenido en humedad, porcentaje en peso	
	Rango	Típico	Rango	Típico
Domésticos (no compactados)				
Residuos de comida (mezclados)	131-481	291	50-80	70
Papel	42-131	89	4-10	6
Cartón	42-80	50	4-8	5
Plásticos	42-131	65	1-4	2
Textiles	42-101	65	6-15	10
Goma	101-202	131	1-4	2
Cuero	101-261	160	8-12	10
Residuos de jardín	59-225	101	30-80	60
Madera	131-320	237	15-40	20
Vidrio	160-481	196	1-4	2
Latas de hojalata	50-160	89	2-4	3
Aluminio	65-240	160	2-4	3
Otros metales	131-1151	320	2-4	2
Suciedad, cenizas, etc.	320-1000	481	6-12	8
Cenizas	650-831	745	6-12	6
Basuras	89-181	131	5-20	15
Comerciales				
Residuos de comida (húmedos)	475-950	540	50-80	70
Aparatos	148-202	181	0-2	1
Cajas de madera	110-160	110	10-30	20
Podas de árboles	101-181	148	20-80	5
Basura combustible	50-181	119	10-30	15
Basura no combustible	181-362	300	5-15	10

Fuente: TCHOBANOGLOUS. GEORGE, THEISEN HYLARY & VIGIL. SAMUEL A. Gestión integral de Residuos Sólidos. Segunda edición. Editorial McGraw Hill. México. 2000. Pág. 83.

3.2.2. Propiedades químicas de los RSU

Es importante conocer las propiedades químicas de los componentes de los RSU para evaluar los procesos de recuperación. Si estos van a ser utilizados para ser incinerados, es relevante tener en cuenta las cuatro propiedades químicas, análisis físico, punto de fusión de las cenizas, análisis elemental y contenido energético.

3.3 Materiales recuperables en Pereira

Unos de los propósitos del procesamiento de los residuos sólidos urbanos es recuperar materiales, para que estos puedan ser utilizados directamente como materia prima para nuevos productos y alimentación para creación de compost en el caso de la fracción orgánica. Además, los residuos se procesan para disminuir el volumen en la disposición final de los RSU, aumentando así la vida del relleno sanitario. Los materiales recuperables se pueden comercializar para tener una fuente de ingresos que ayude al sostenimiento económico de la planta. En la tabla 10, se muestran los tipos de materiales que son recuperados. En la ciudad de Pereira la empresa de aseo E.S.P. Tribunales Córcega se entendía como la encargada del servicio público de aseo en el corregimiento de Tribunales Córcega. Esta compañía ha incorporado un sistema para la recolección selectiva con el fin de aprovechar algunos materiales que componen los RSU.

Tabla 10
Materiales recuperados por S.A E.S.P Tribunales Córcega en los últimos años

Material	2011	2012	Tiendas comunitarias 2012	2013	2014	Total
Cartón	555	1835	1243	2458	3049	9140
Papel archivo	186	397	1048	365	807	2803
Plástico de Alta	127	327	447	184	509	1594
Vidrio	248	686	772	926	942	3524
Prensa	40	250	255	344	588	1477
Latas de cerveza	2.4	9	3	16	8	38.5
Chatarra	26	66	1252	9	229	1582
Plegadiza	43	170	301	35	11	560
Plástico de baja	51	80	54	0	35	320
Aluminio	6.3	4	26.75	0	4	41.05
Cobre	0.38	0	9	0	0	9.38
Total [kg]	1285	3924	5361	4337	6182	21.089

Fuente: SAENZ BECERRA MARIA, VELEZ CASTAÑO DANNY. Evaluación Administrativa de la Gestión Integral de Residuos Sólidos en el Municipio de Pereira, A partir de la Planeación Estratégica Situacional. Caso de Estudio: Empresa de Aseo de Pereira S.A E.S.P. Pereira. 2016. Pág. 60

El resto de los materiales recuperados se realiza desde el principio de la informalidad y a partir de procesos aislados, como los realizados por recicladores, sitios de comercialización y compra de reciclaje, bodegas, centros de acopios. Haciendo difícil la determinación de la cantidad exacta de materiales reciclados. Pero se estima que en el municipio de Pereira se recuperan 328.23 toneladas al mes, según reporta la Empresa de Aseo de Pereira en el 2015, de los materiales que se indican en la tabla 11.

Tabla 11
Cantidad de material reciclado [t/mes]

Papel	191.9
Plástico	40.71
Vidrio	32.14
Metal	59.42
Otros	4.06
TOTAL	328.23

Fuente: Actualización de Plan municipal de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos PGIRS 2015-2027. Pag 165-166.

El mayor porcentaje de componentes de los RSU es materia orgánica, la cual se puede recuperar para la creación de un compost que ayude a mejorar la composición de los suelos. Además, estos residuos son los que generan una alta cantidad de lixiviados, por su contenido de humedad. Se puede apreciar en la tabla 11 que la ciudad de Pereira no recicla este tipo de residuos, desaprovechando una notable porción de componentes que se pueden recuperar. Otros residuos orgánicos que no se aprovechan son los generados por el corte de césped y poda de árboles en zonas verdes de la ciudad según lo informa la Alcaldía de Pereira en el plan de gestión integral de residuos sólidos municipales en la ciudad.

3.4 Proyección de la generación de residuos sólidos en Pereira

De acuerdo con los estudios realizados por la Alcaldía de Pereira, la proyección de la generación de residuos en el área de cobertura del servicio público de aseo durante los próximos años está presentada en la tabla 12 dicha proyección se basó en la tasa de crecimiento del 1% de la producción per cápita de municipio de Pereira, según el reporte de la Alcaldía de Pereira en PGIRS [1].

Tabla 12.
Proyección de la composición de los residuos sólidos urbanos del municipio de Pereira.

Año	Población	PPC (kg/Hab.-día)	Generación RSU (t/Año)	Biodegradables (t/Año)	Papel y cartón (t/Año)	Plástico (t/Año)	Textiles (t/Año)	Metal (t/Año)	Vidrio (t/Año)	Madera (t/Año)	Otros (t/Año)
				42.2%	20.7%	9.8%	0.7%	0.9%	7.2%	0.5%	18.0%
2015	383.661	1,084	151.769	64.094,9	31.455,4	14.812,4	1.035,7	1.308,8	10.929,3	763,5	27.369,3
2016	384.906	1,095	153.784	64.945,8	31.873,0	15.009,1	1.049,4	1.326,2	11.074,4	773,7	27.732,6
2017	386.154	1,106	155.826	65.807,9	32.296,1	15.208,3	1.063,4	1.343,8	11.221,4	783,9	28.100,8
2018	387.406	1,117	157.894	66.861,5	32.724,9	15.410,2	1.077,5	1.361,7	11.370,4	794,3	28.473,8
2019	388.662	1,128	159.990	67.566,8	33.159,3	15.614,8	1.091,8	1.379,7	11.521,3	804,9	28.851,8

2020	389.923	1,139	162.114	68.463,7	35.599	15.822	1.106,	1.398,	11.674	815,6	29.234
					,5	,1	3	1	,3		,8
2021	391.187	1,150	164.266	69.372,6	34.045	16.032	1.121,	1.416,	11.829	826,4	29.622
					,5	,1	0	6	,2		,9
2022	392.456	1,162	166.447	70.293,5	34.497	16.245	1.135,	1.454,	11.986	837,4	30.016
					,5	,0	8	5	,3		,2
2023	393.728	1,174	168.657	71.226,7	34.955	16.460	1.150,	1.545,	12.145	848,5	30.414
					,5	,6	9	5	,4		,7
2024	395.005	1,185	170.896	72.172,3	35.419	16.679	1.166,	1.473,	12.306	859,2	30.818
					,5	,1	2	8	,6		,4
2025	396.286	1,197	173.164	73.130,4	35.889	16.900	1.181,	1.493,	12.470	871,2	31.227
					,7	,6	7	4	,0		,6
2026	397.571	1,209	175.463	74.101,2	36.366	17.124	1.1927	1.513,	12.635	882,7	31.642
					,2	,9	,4	2	,5		,1
2027	398.860	1,221	177.792	75.084,9	36.848	17.352	1.213,	1.533,	12.803	894,4	32.062
					,9	,3	3	3	,3		,2
TOTAL			2.138.06	902.942,1	443.13	208.67	14.590	18.438	153.96	10.756	385.56
					1,2	1,5	,2	,4	7,4	,2	7,3

Fuente: Alcaldía de Pereira, Actualización del Plan Municipal de Gestión Integral de Residuos Sólidos PGIRS 2015-2027, Pag 58-59.

4. EQUIPOS DEL PROCESO DE SEPARACIÓN, CLASIFICACIÓN, TRATAMIENTO Y TRANSFORMACIÓN FINAL DE RSU

Tecnológicamente los equipos y máquinas de separación, clasificación, tratamiento y disposición final de los RSU, para llevar a cabo el proceso de reciclaje, tienen que facilitar y optimizar las operaciones. Estos equipos de tratamientos de RSU se han desarrollado a medida que se ha considerado disminuir la problemática ambiental que generan las basuras en todo el mundo. Hoy en día existen muchas máquinas que se incorporan a los procesos dependiendo de la composición de los residuos para su recuperación y selección. Por ejemplo, se tienen separadores balísticos, magnéticos, neumáticos, ópticos, entre otros. A continuación, se describen los equipos que se necesitan en el proceso propuesto y la selección de estos para tener una estimación de su precio para el proyecto.

4.1. Tolva de recepción

Una tolva de recepción es un cubículo que cumple con la función de recibir los residuos transportados por los camiones compactadores que hacen la recolección, para posteriormente dirigirlos hacia el proceso de tratamiento. Esta tiene que ser adecuada a la cantidad diaria de basura descargada. Además, se tienen que considerar proyecciones de producción de residuos para su formulación. En la tabla 17 se puede observar el balance de requerimiento de área y altura del espacio de recepción de los residuos.

4.2. Bandas transportadoras

Las bandas transportadoras son las encargadas de trasladar los residuos sólidos de un lugar a otro, para que estos sigan el proceso de separación de materiales recuperables, manteniendo un flujo constante para alimentar los equipos y áreas que pertenecen a la planta. Una transportadora es una cinta sinfín, apoyada sobre rodillos libres antifricción y conducida desde un extremo por un rodillo motriz. Estas pueden estar construidas de diferentes materiales dependiendo del tipo de residuo a transportar, por ejemplo, de goma, lona o materiales sintéticos, cuando se requiere manipular residuos reciclables que son relativamente ligeros. Para los residuos en bruto o los residuos no seleccionados se utilizan cintas de acero con bisagras [4]. Para el diseño y la selección de la banda transportadora es necesario establecer los requerimientos de los materiales a transportar, como velocidad de la cinta, el rendimiento por peso, la potencia y el espesor del material sobre ella [4]. Con base en las siguientes ecuaciones se pueden estimar las necesidades de potencia requeridas de una cinta transportadora.

$$HP_{vacía} = (A + BL)100Scinta \quad (1)$$

Donde:

$HP_{vacía}$ = Potencia en caballos para una transportadora vacía.

A, B = Constantes empíricas (ver tabla 13)

L = Longitud de la cinta transportadora [m].

$Scinta$ = Velocidad de la cinta [m/s].

Tabla13.
Constantes empíricas para cintas transportadoras

Anchura de la cinta transportadora [cm].	Constantes empíricas	
	A	B
35	0.20	0.00140
40	0.25	0.00140
45	0.30	0.00162
50	0.30	0.00187
60	0.36	0.00224
76	0.48	0.00298
91	0.64	0.00396
107	0.72	0.00458
122	0.88	0.00538
137	1.00	0.00620
152	1.05	0.00765

Fuente: TCHOBANOGLIOUS. GEORGE, THEISEN HYLARY & VIGIL. SAMUEL A. Gestión integral de Residuos Sólidos. Segunda edición. Editorial McGraw Hill. México. 2000. Pág 264.

$$HP_{llano} = M(0.48 + 0.00302L)100 \quad (2)$$

Donde:

HP_{llano} = Potencia en caballos para una transportadora en llano.

M = Rendimiento [t/h].

$$HP_{subida} = 1.015HM1000 \quad (3)$$

Donde:

HP_{subida} = Potencia en caballos para subir el material.

H = Altura de subida [m].

$$HP_{total} = HP_{vacía} + HP_{llano} + HP_{subida} \quad (4)$$

Con estas ecuaciones de Tchobanoglous [4] es posible estimar la potencia demandada de las diferentes cintas transportadoras requeridas en planta.

4.3. Abre bolsas

Un abre bolsas es un equipo diseñado para abrir y desgarrar bolsas de todos los tamaños que llegan a plantas de tratamiento de residuos urbanos como se puede apreciar en la figura 1. Para aumentar la eficacia del proceso de tratamiento de residuos, como la separación y selección de materiales recuperables. Este equipo dispone de un rotor con una serie de dientes desgarradores, que gira a bajas revoluciones, y que es accionado por un motor eléctrico [Anexo 1].

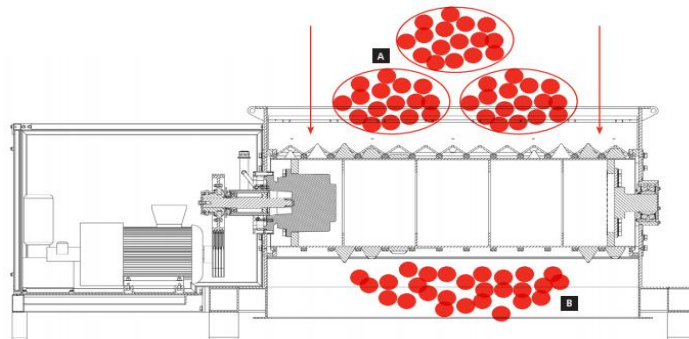


Figura 1. BIANNA RECYCLING. (2020) Vista frontal de Abre Bolsas. Catálogos Bianna Recycling

Para seleccionar este equipo se requiere tener el rendimiento en metros cúbicos por hora [m^3/h]. Teniendo en cuenta que la proyección de cantidad de producción de residuos en la ciudad de Pereira, tabla 12, para el año 2024 es de 170.896 t/año (468 t/día). Se toma el valor estimado del año 2024 con el fin de proyectar la capacidad del equipo para que pueda cumplir con la capacidad por los siguientes años. Basándose en Tchobanoglous [4], el valor

de densidad que pueden tener los residuos sólidos en el camión compactador está en el rango de 178 – 451 kg/m³. Para ser conservadores seleccionamos el menor valor de compactación, y el cálculo de flujo de residuos [m³/h] se determina de la siguiente manera. Lo primero que se calcula es el volumen.

$$\rho = m/V$$

Reemplazando los valores tenemos:

$$178 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{468.000\text{kg}}{V}$$

De lo anterior se despeja V :

$$V = 2629.2 \text{ m}^3$$

Para el cálculo del rendimiento [m³/h], se divide el tonelaje por 20 horas, que será el tiempo de dos turnos diarios de 10 horas.

$$\text{Rendimiento} = \frac{2629.2 \text{ m}^3}{20 \text{ h}} = 131.5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para tener un factor de seguridad, seleccionamos la máquina con un rendimiento mayor de 30% al hallado. Por si se presentan sobrecargas; además, la proyección de residuos tiende a aumentar. La demanda de capacidad seria de 170.95 m³/h. Por lo tanto, se plantea seleccionar dos abre bolsas con rendimiento de 110 m³/h.

Seleccionando el Abre bolsa Bianna Recycling, del catálogo (Anexo 1) de la marca BIANNA RECYCLING con las siguientes características:

Modelo: OC180/75

Capacidad máxima: 110 m³/h

Potencia de accionamiento: 75 kW.

Longitud del rotor: 1.800 mm

Velocidad del rotor: 0 – 12 rpm.

4.4. Separador balístico

Este equipo está diseñado para separar los residuos sólidos en bruto (no seleccionados), según sus características de tamaño, densidad y forma. La máquina consta de una rampa inclinada, formada por unas laminas longitudinales perforas, que poseen un movimiento de tipo balístico. La inclinación del equipo y el movimiento oscilatorio de las palas causan la separación de los residuos en tres fracciones como se indica en la figura 2 [Anexo 2].

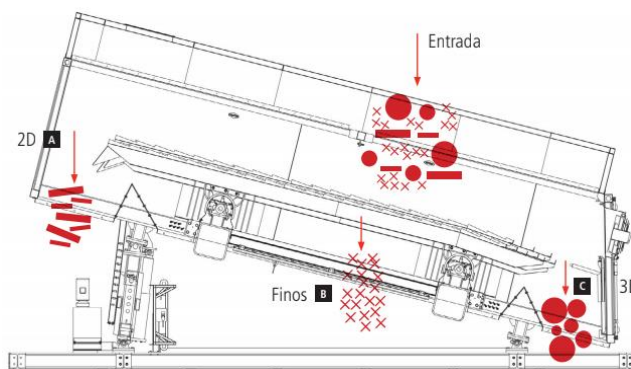


Figura 2 BIANNA RECYCLING. (2020) Separador Balístico. Catálogos Bianna Recycling

- 3D rodantes, pesados, botellas, latas, etcétera.
- 2D Planares, ligeros, papel, bolsas plásticas, etcétera.
- Finos: Restos alimenticios, Arena, etcétera.

Para este proceso solo se requiere seleccionar un separador balístico con capacidad máxima 170.95 m³/h, optando por el separador balístico del catálogo (Anexo 2) de la marca BIANNA RECYCLING con las siguientes características:

Modelo: SB100

Capacidad máxima: 170 m³/h

Potencia de accionamiento: 2 x 5.5 kW.

Número de palas: 10

Número de ventiladores: 3

Peso: 14050 kg

Longitud: 7750 mm.

Ancho: 4954 mm.

4.5. Separador magnético

Estos equipos están diseñados con el fin de separar metales férreos de materiales no férreos como se muestra en la figura 3, utilizando las propiedades magnéticas a favor del proceso. Comúnmente usados antes de un proceso de trituración, para evitar daños en las máquinas que puedan producir gastos o costos innecesarios, o después de un proceso de filtrado (un tamizado) donde ya se puede garantizar una mejor eficacia en el proceso de selección por magnetismo. En estos equipos se pueden utilizar imanes permanentes o electroimanes en una de sus diversas configuraciones dependiendo de las características de los materiales a separar. Para mayor facilidad se ha optado por el separador magnético, el cual se limpia por sí mismo para un funcionamiento sin interrupción. Para obtener una mayor eficacia del proceso, se opta por una instalación en línea a la cinta transportadora, preferiblemente al final, se

aprovecha la poca compactación a la hora de caer y se garantiza una mayor eficiencia de selección [Anexo 3].

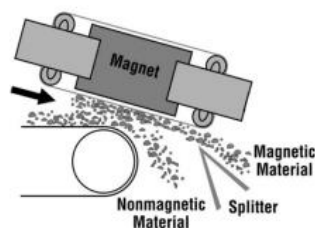


Figura 3. SOLLAU. (2020) Separador Magnético. Catalogo Inducción magnética Sollau.

Para el caso de las basuras ya separadas por los equipos balísticos, se opta por imanes de elevada potencia magnética. Los criterios usados para selección de imanes son las características del material (tamaño de partícula, forma, composición del material), características y especificaciones del transportador, fuerza del imán, espacio de suelo y vertical disponibles y el acceso. De acuerdo con la formulación del diseño, en la planta se necesitarán dos separadores magnéticos. Este equipo fue seleccionado con base en los criterios de selección, distancia de a la cinta transportadora para permitir estimar el tamaño de los elementos atraídos por el imán, la velocidad de la cinta transportadora para relacionarlo con la capacidad y el tipo de material que compone al imán. En ambos separadores se utilizó un imán de neodimio. El separador magnético número 1 estará dispuesto para separar los metales que se derivan de la separación balística en la banda transportadora. Las especificaciones técnicas se encuentran en el catálogo de la marca SOLLAU (Anexo 3). El modelo del equipo es el DND-AC Nm1 el cual se puede apreciar en la tabla 14, con una distancia de instalación sobre la banda de 250 mm.

Tabla 14
Dimensiones de separadores magnéticos marca Sollau

DESCRIPCIÓN DEL MODELO	ANCHO DE CORREA CORRESPONDIENTE (mm)	DISTANCIA DE INSTALACIÓN	PESO	DIMENSIONES (mm)						
				I	II	A	B	C	D	E
DND-AC Nm1	500	250	340	500	800	280	1050	300	1014	950
DND-AC Nm2	700	250	450	700	800	280	1250	500	1014	950
DND-AC Nm3	1000	250	555	1000	800	280	1550	800	1014	950
DND-AC Nm4	1200	250	655	1200	800	280	1750	1000	1014	950
DND-AC Nm5	1400	250	750	1400	800	280	1950	1200	1014	950

DND-AC Nm6	1600	250	845	1600	800	280	2150	1400	1014	950
DND-AC Nm7	1800	250	940	1800	800	280	2350	1600	1014	950

Fuente: SOLLAU. Inducción magnética. Catálogo, separador magnético. Pág. 16.

El separador magnético número 2 estará instalado en el flujo de residuos finos, los cuales son derivados del separador balístico. Estos son de tamaño reducido, por lo que se requiere una instalación más cerca sobre la cinta del separador magnético. Se opta por seleccionar el mismo equipo anterior por razones prácticas de mantenimiento, con el fin de tener un mismo equipo para facilitar cambio de repuestos si se presentan daños.

4.6. Separador de materiales inertes

Este dispositivo permite eliminar los materiales inertes como piedras, cerámicos, metales no ferrosos y vidrio, en el proceso de la limpieza de la fracción orgánica fresca (la línea de finos que salen del separador balístico), por medios mecánicos y mesas densimétricas e incluso sistemas sofisticados con diferentes sensores y chorros de aire. La máquina seleccionada dispone de distintas configuraciones, conjugando una variedad de sensores de que permiten separar los materiales inertes que se encuentran en los residuos orgánicos. El separador de materiales inerte es de la marca TOMRA XRT X-TRACK 2400, el cual tiene 192 válvulas de aire para realizar la repulsión de los materiales inertes. Las especificaciones del producto se encuentran en catálogo de marca, TOMRA (Anexo 4)

4.7. Separador de corriente de Foucault

Este equipo es de inducción y selecciona los materiales metálicos no magnéticos compuestos de alto contenido de aluminio. El funcionamiento está basado en el principio físico de las corrientes de Foucault, el cual consiste en la creación de un campo magnético variable donde el polo norte y sur cambian alternativamente. Este campo se obtiene mediante un tambor inductor que gira a una velocidad de giro superior a 3000 rpm, de tal forma que si un metal no férreo está sometido a un campo magnético alternativo, se crea unas corrientes internas denominadas corrientes de Foucault, las cuales producen un campo magnético opuesto al campo magnético de variable generado por el imán. Esta fuerza de oposición de campos magnéticos provoca una repulsión entre ellos y, por tanto, el material no férreo será desprendido del flujo del resto de materiales [Anexo 5]. Complementariamente, el tambor induce corrientes electromagnéticas secundarias que atraen los materiales ferromagnéticos hacia el tambor los cuales también quedan separados. Se propone la instalación de un

separador de la marca REGULATOR-CETRISA, debido a que este equipo permite la separación de metales no ferrosos, ferrosos y de materiales inertes en un solo paso. El modelo de la máquina es R-SPM1200, el cual cumple con la demanda de flujo a recuperar. Las especificaciones del producto están en el Anexo 5.

4.8. Separador óptico

Los residuos rodantes 3D son separados mediante el separador balístico, los cuales están compuestos por distintos materiales seleccionables por propiedades ópticas o colorimétricas. La separación óptica consiste en una fuente emisora de rayos infrarrojos y un detector que detecta la reflexión de estos, identificando el tipo de material del que se trata. Posteriormente a la detección, el receptor manda una señal a una electroválvula que emite una corriente de aire comprimido que impulsa al material identificado, separándolo del flujo de residuos. El equipo que cumplirá con este objetivo sería el de la marca PICVISA OPTICAL SORTING modelo ECOPACK EP 2500. Se plantea ubicarlo después del separador por corrientes de Foucault, el cual nos permite separar los diferentes plásticos como PET, PE, entre otros. Las especificaciones del separador se encuentran en el Anexo 6. Un segundo separador óptico se plantea en el flujo en la línea de planares y ligeros 2D que se desvían en el separador balístico. Este flujo de residuos tiene un alto contenido de polietileno de baja densidad, como son las bolsas, o envolturas. Para separar estos materiales de papel se plantea la utilización de un equipo de la marca STEINERT'S el cual utiliza tecnología óptica para realizar este proceso atrapar dicho plástico de baja densidad. El modelo del equipo es el Uniosort Film.

4.9. Compactadores hidráulicos

Los residuos sólidos de reutilización primaria, como cartones, papel de oficina y latas de gaseosa, cerveza y empaques de alimentos procesados, pueden compactarse formando fardos transportables hacia los sitios donde pueden transformarse de nuevo en materias primas. Pueden emplearse equipos compactadores hidráulicos para papeles, cartón, hojalatas, vidrio, residuos agrícolas de frutas, verduras, productos de poda y restos de comida. La compactación de los materiales reciclados es necesaria para disminuir los costos de transporte y simplificar el almacenamiento. Se plantea utilizar la prensa hidráulica del proveedor BOARECYCLING SYSTEMS, modelo IMPRESS D 130 B.5V.1.6. En el Anexo 7 se puede apreciar las especificaciones técnicas. Este equipo permite la una producción continua de

fardos compactados de diferentes tipos de materiales como papel, cartón, varios plásticos y otros reciclables. La ubicación de estos equipos se encuentra al final de cada línea de flujo de los materiales recuperados, para posteriormente ser almacenados y comercializados.

4.10 Equipos y accesorios complementarios

La operación eficiente de la planta necesita de equipos y accesorios complementarios para que las líneas de reciclaje de los RSU fluyan sin retraso y que no se formen “cuellos de botella” que aumentan el tiempo y el costo operacional de ésta. Los equipos y accesorios de mayor importancia son:

- Basculas camioneras automatizadas para 40 toneladas.
- Bombas hidráulicas de trabajo pesado y de diferente tipo y especificaciones tecnológicas.
- Compresores de diferentes tipos y especificaciones tecnológicas.
- Motores hidráulicos de diferentes tipos y especificaciones tecnológicas.
- Bandas transportadoras de diferentes tipos y especificaciones tecnológicas.
- Filtros para aguas residuales y lixiviados.
- Plantas filtradoras de olores.
- Tubería rígida y flexible de PVC en diferentes colores, diámetros y especificaciones tecnológicas.
- Tubería metálica de acero y de cobre para distintas aplicaciones y diferentes diámetros.
- Depósitos elevados para combustibles, gas y agua.
- Equipos crematorios para residuos peligrosos.
- Planta generadora de electricidad con su correspondiente estación de relevo.
- Caldera y sus correspondientes accesorios.
- Hidrolavadoras para lavado y limpieza.
- Ventiladores de alta potencia.
- Equipos y accesorios de oficina.
- Camiones de transporte y equipos compactadores móviles.
- Máquinas alzadoras.
- Señalización de seguridad e higiene. Norma ISO-45000.

Los tamaños y especificaciones tecnológicas de cada uno de los equipos y accesorios complementarios se revelan más adelante en la tabla 18.

5. FORMULACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS EMPLEADAS EN LA DISPOSICIÓN FINAL DE RSU

Las tecnologías para la separación, procesamiento y transformación se producen en las grandes instalaciones de recuperación de materiales (IRM), las cuales pueden incluir las funciones de un centro de recogida selectiva para residuos separados, una instalación de separación de materiales, una instalación para la producción de combustible derivado de residuos (CDR) y una instalación de transferencia y transporte.

5.1. Tecnología de separación y procesamiento

Una instalación para la recuperación de materiales puede funcionar como una instalación centralizada para la separación, limpieza, embalaje y transporte de grandes volúmenes de materiales recuperados de los RSU como se aclara en la tabla 15. Los procesos utilizados para separar y procesar los residuos no seleccionados, son diseñados, con el fin de modificar las características físicas de los despojos, para separar los componentes recuperables más fácilmente. Posteriormente estos materiales se procesan y preparan para usos posteriores [4].

Tabla 15.
Tecnología de separación de RSU

Artículo	Función/material procesado	Reprocesamiento
Procesos Unitarios		
Trituración		
Molinos de martillos	Reducción en tamaño/todos los tipos de residuos	Separación de artículos voluminosos, separación de contaminantes
Molinos batidores	Reducción en tamaño, también utilizados como rompedores de bolsas/todos los tipos de residuos	Separación de artículos voluminosos grandes, separación de contaminantes
Trituradora	Reducción en tamaño, también utilizada como rompedora de bolsas/todos los tipos de residuos	Separación de artículos voluminosos grandes, separación de contaminantes
Trituradoras de vidrio	Reducción en tamaño, todo tipo de residuos	Separación de otros materiales
Trituradoras de madera	Reducción en tamaño/podas de jardín/todo tipo de residuos	Separación de artículos voluminosos grandes, separación de contaminantes
Criba	Separación de material grueso y fino; trómel utilizado también como rompedor de bolsas/todo tipo de residuos	Separación de artículos voluminosos grandes, grandes trozos de cartón

Ciclón separador	Separación del material combustible ligero del flujo de aire/residuos preparados	El material se separa del flujo de aire que contiene materiales combustibles ligeros
Separación por densidad (clasificación neumática)	Separación de materiales combustibles ligeros	Separación de artículos voluminosos grandes trozos de cartón, trituración de residuos
Separación magnética	Separación del material férreo de residuos no seleccionados	Separación de artículos voluminosos grandes, grandes trozos de cartón, trituración de residuos
Compactación		
Embaladoras	Compactación en fardos/papel, cartón, plásticos, textiles, aluminio	Se utilizan las embaladoras para los componentes separados
Prensas para latas	Compactación y aplanamiento/latas de aluminio y hojalata	Separación de artículos voluminosos grandes
Separación húmeda	Separación de vidrio y aluminio	Separación de artículos voluminosos grandes
Instalación de pesaje		
Basculas plataforma	Archivos de operación	
Basculas pequeñas	Archivos de operación	
Instalaciones de manipulación, traslado y almacenamiento		
Cintas transportadoras	Transporte de materiales/todo tipo de residuos	Separación de artículos voluminosos grandes
Cintas transportadoras de selección	Separación manual de materiales residuales/RSU separados en origen y no seleccionados	Separación manual artículos voluminosos grandes
Conductor gusano (uso no bien establecido)	Transporte de materiales; también utilizado como rompedor de bolsas/todo tipo de residuos	Separación de artículos voluminosos grandes
Equipamiento móvil	Manipulación y traslado de materiales/todo tipo de residuos	
Instalaciones de almacenamiento	Almacenamiento de materiales/todo tipo de materiales recuperados	Densificación, trituración de vidrio, etc.

Fuente: TCHOBANOGLIOUS. GEORGE, THEISEN HYLARY & VIGIL. SAMUEL A. Gestión integral de Residuos Sólidos. Segunda edición. Editorial McGraw Hill. México. 2000. Pág. 83.

En el estudio técnico de este proyecto, capítulo 4, se mostró el balance de equipos y maquinarias requeridos para lograr la separación y disposición final de los RSU, generados en la ciudad de Pereira y de algunos municipios en su entorno, como Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal, La Virginia y Cartago.

5.2. Tecnología de transformación

Para reducir el volumen y el peso de los residuos que necesitan su evacuación y para recuperar productos de conversión y energía se utilizan los procesos de transformación química y biológica. El proceso de transformación química que se utiliza más frecuentemente es la incineración, y se usa conjuntamente con la recuperación de la energía en forma de calor. El proceso de transformación biológica más frecuentemente utilizado es el compostaje aerobio. Aquí se dará una breve introducción a cada sistema y sus tipos.

5.2.1. Sistemas de incineración

Incineración puede definirse como el procesamiento térmico de los residuos sólidos mediante oxidación química con cantidades estequiométricas o en exceso de oxígeno [4]. Aunque la tecnología de incineración ha avanzado, el control de la contaminación todavía sigue siendo una preocupación importante en la implementación, sobre todo por la localización de estas instalaciones. Las operaciones implicadas en la incineración de los RSU no seleccionados se ven en la figura 4.

La operación comienza con la descarga de residuos sólidos desde vehículos de recogida (1) en un foso de almacenamiento (2). La capacidad del foso de almacenamiento es normalmente equivalente al volumen de residuos para dos días. La grúa puente (3) se utiliza para cargar los residuos por lotes en el conducto de alimentación (4), que dirige los residuos al horno (5). Los residuos sólidos en el conducto de alimentación caen en las parrillas (6), donde son quemados en bruto. Como la mayoría de los residuos orgánicos son térmicamente inestables, se emiten varios gases desde el horno durante el proceso de combustión. Estos gases y pequeñas partículas orgánicas suben a la cámara de combustión (7) y se queman a temperatura superiores a 871.1 °C. Se recupera el calor de los gases calientes utilizando tubos llenos de agua en las paredes de la cámara de combustión y con una caldera (8) que produce vapor, que se convierte en electricidad mediante un generador de turbina (9). El equipamiento de control de contaminación aérea puede incluir una inyección de amoníaco para controlar NOx (10), una depuradora seca para controlar SO2 y los gases ácidos (11), y un filtro de mangas para separar partículas (12). Para asegurar flujos de aire adecuados que compensen las pérdidas en el tiro causadas por el equipamiento de control de contaminación aérea, así como para suministrar aire a la misma incineradora, puede ser necesario un ventilador de tiro inducido (13). Los gases limpios se conducen a la chimenea (14) para su dispersión atmosférica. Las cenizas y rechazos no quemados caen desde las parrillas en una tolva de rechazos (15) localizada debajo de las parrillas, donde son tratados con agua. Las cenizas volantes proceden del filtro de mangas y de la depuradora seca se mezclan con las cenizas del horno y se transportan a instalación para tratamiento de cenizas (16),[4]

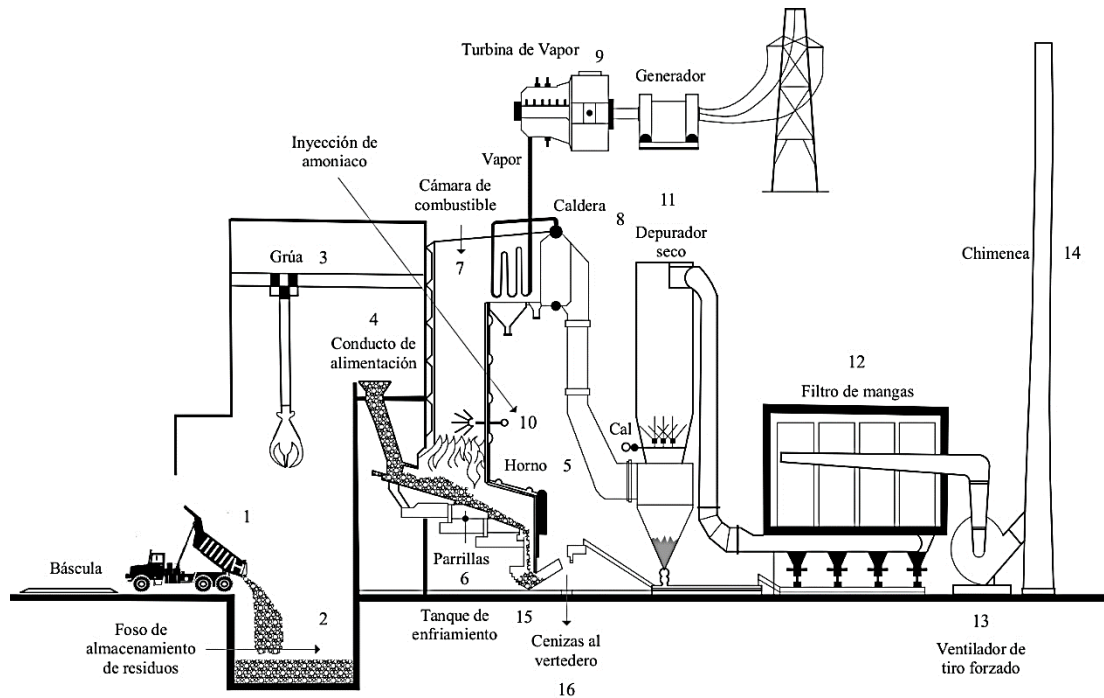


Figura 4. Sistema de incineración RSU. TCHOBANOGLIOUS. GEORGE, THEISEN HYLARY & VIGIL. SAMUEL A. Gestión integral de Residuos Sólidos. 2000.

5.2.2 Trituración de residuos sólidos

El proceso de trituración de RSU requiere de gran variedad de equipos y de máquinas, dada la diversidad de las propiedades físicas, mecánicas y tecnológicas de los materiales que se encuentran en estos. En los mercados mundiales existe la tecnología de separación, con mínima intervención de operarios que hagan la preselección de los RSU que lleguen al sitio donde operará la planta; Aunque ello implicará una elevada inversión de capital inicial, en compra e importación de dichas máquinas y equipos, esta propuesta de diseño de planta apunta a que sea intensiva en tecnología. Los procesos y las máquinas para triturar RSU, requieren de máquinas y equipos que se han diseñado y desarrollado en países como los Estados Unidos, Francia, Italia, Alemania y China. De las empresas que fabrican máquinas y equipos para organizar una planta intensiva en tecnología, se seleccionaron, por sus características de potencia, resistencia, elevada productividad y calidad, las italianas y chinas, teniendo como base de selección tecnológica los manuales de las empresas FORREC, italiana, y de la empresa ZERMA, de Shanghái china (ver Anexo 8 y Anexo 9):

- **Molinos de martillos.** El método de trituración de RSU empleando molinos de martillos (figura 5), según la información tecnológica consultada, puede triturar todo tipo de RSU como madera, metal, vidrio, residuos de la construcción y otros materiales. Comercialmente se dispone del molino industrial RSU.TM-500 de origen chino, y de origen italiano como la versión FORREC Z 15-1000, muy similar a la máquina china y que dispone de características tecnológicas para destacar como:

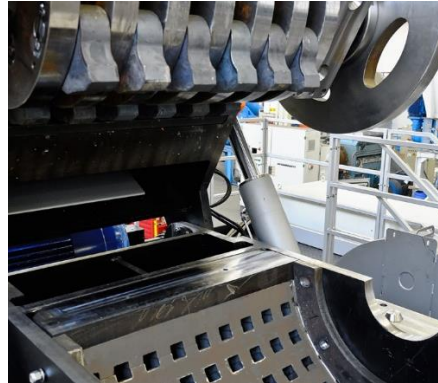


Figura 5. Molino de Martillos FORREC 2019, tomado el 14/05/2020 de <https://www.forrec.es/productos/molinos-de-martillos/>

Dimensiones totales: 3800 2370 H1856 mm **Cuchillas:** Armaduras intercambiables

Dimensiones rotor: L1018 – Ø900 mm

Espesor martillos: 70 mm

Peso: 16500 Kg

Martillos/rendimiento: 24/40 a 50 $\frac{t}{h}$

Motor: 200 kW / 250 kW

5.2.3. Cribado y granulado de residuos sólidos

Sumada a la tecnología de trituración con molino de martillos, se agrega la tecnología de la utilización de cribas, equipos granuladores y prensas hidráulicas de compactación. Este agregado de equipos en la planta incrementará el rendimiento de esta, hasta poder alcanzar la disposición final entre 3000 y 5000 toneladas por mes de RSU.

- **Criba de disco para fracción orgánica.** La criba de discos observada en la figura 6, es un componente importante de las plantas para el tratamiento de los residuos sólidos. Todas las piezas de la criba en contacto con el residuo están hechas de acero anti-desgaste y están templadas para un menor coste de mantenimiento. La criba de discos DS está diseñada para garantizar un perfecto cribado, eliminando las dificultades de las cribas

normales, tales como el enrollado de los materiales largos alrededor de la estructura de los ejes. En el mercado mundial se disponen de versiones de elevada capacidad de producción.



Figura 6 Criba de disco versión D 6000-1600, FORREC 2019, tomado el 14/05/2020 de <https://www.forrec.es/productos/cribas-de-discos/ds-rsu.html>

Las cribas de discos están compuestas por una serie de ejes de acero en los que están acoplados unos discos poligonales de diferentes diámetros y anchura dependiendo del material que se deba tratar, del tamaño y caudal requerido. El material de residuos que se ha de cribar avanza gracias a la rotación de los discos poligonales que también sacuden con fuerza el material para favorecer un perfecto cribado. El espacio libre entre los discos determina el tamaño del cribado. La tecnología CAD asegura un cribado perfecto gracias a los conos de metal instalados en los ejes, que desvían las piezas largas hacia la parte cercana del disco siguiente, evitando que se caigan en la fracción cribada (bajo criba).

El sistema CAD está hecho con componentes de acero de alto espesor, fijados perfectamente al eje de los discos, obsérvese en la figura 7. Esta solución, que no requiere la instalación de piezas móviles, no necesita mantenimiento y tiene una gran resistencia contra el desgaste causado por los residuos. Puede llevar a cabo rápidamente una limpieza a fondo, requerida en determinadas condiciones, utilizando sistemas térmicos, tipo llamas o hidro-limpiadoras hidrolimpiadoras de vapor de alta temperatura, para quemar y eliminar cualquier residuo sin peligro de dañar las piezas de la máquina. Las características tecnológicas de la máquina son:

Superficie de tamizado: 7006 X 1618 X H1154 mm

Ejes: Hexagonal

Superficie de servicio: L6000 x 1600 mm

Discos: Diámetro 250 – 330 mm

Motor: 15 kW

Aplicaciones: Cribado de todo tipo de RSU, cribado de residuos industriales.

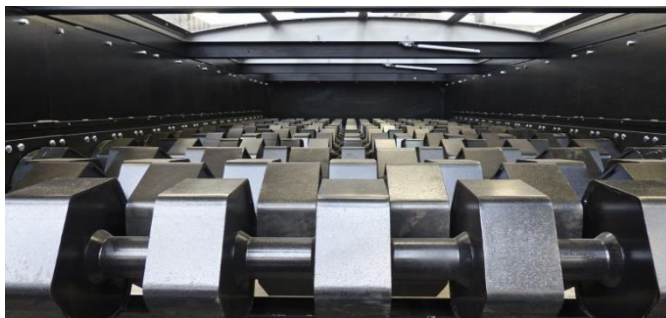


Figura 7. Vista frontal de la Criba: D 6000-1600, FORREC 2019, Tomado el 14/05/2020 de <https://www.forrec.es/productos/cribas-de-discos/ds-rsu.html>

- **Equipo Granulador.** En la figura 8 se muestra una máquina granuladora de cuchillas rotatorias. Estos dispositivos están diseñados para la trituración y reducción de desechos heterogéneos de plásticos producidos. Gracias al uso de aceros especiales para la fabricación de los componentes, son ideales para el procesamiento de los materiales más difíciles. El sistema especial de corte garantiza un ahorro de energía y una menor formación de polvo durante el proceso de tratamiento del residuo. Está diseñada para la trituración de componentes resultantes del proceso de moldeo por inyección y soplado, piezas de extrusión (tubos, perfiles, placas, fugas pequeñas), películas a granel y en bobinas, bloques. Estas máquinas de trituración especiales también se emplean para el tratamiento de frigoríficos, cables eléctricos y neumáticos de diferentes tamaños.



Figura 8. Máquina granuladora FMS-2000, Tomado el 14/05/2020 de <https://www.forrec.es/productos/granuladoras/fms.html>

Las características tecnológicas de este modelo de granuladora son:

Producción: 1000 - 2500 kg/h

Dimensiones rotor: 800 mm

Motor: 200 kW

Rotor: Macizo

Motor del ventilador: 15 kW

Longitud del rotor: 2000 mm

Cuchillas: Placas intercambiables y de tamaño configurable

5.2.4 Transformación por compostaje

Con la excepción de compo nes plásticos, de goma y de cuero, la fracción orgánica de la mayoría de los RSU se puede considerar compuesta por proteínas, aminoácidos, lípidos, hidratos de carbono, celulosa, lignina y ceniza. Los objetivos generales del compostaje son: 1) transformar materiales orgánicos biodegradables en un material biológicamente estable; y en el proceso debe reducir el volumen original de los residuos; 2) destruir patógenos, huevos de insectos y otros organismos no queridos que puedan estar presentes en los RSU; 3) retener el máximo contenido nutricional y 4) elaborar un producto que se pueda utilizar para soportar el crecimiento de plantas [4] y la retención de nutrientes orgánicos así como de agua, disminuyendo de manera considerable la cantidad y el costo de abonos y de agua en los cultivos. De todos los métodos para reducir y procesar residuos sólidos orgánicos para convertirlos en compost, tecnológicamente se ha seleccionado el sistema cerrado. Este sistema permite un mejor control de los distintos parámetros del proceso en la mayor parte de los casos, así como un menor tiempo de residencia y la posibilidad de realizar un proceso continuo. Se caracterizan por llevar a cabo el compostaje en reactores de flujo horizontal con depósito rotatorio, de geometría variable con un dispositivo de agitación.

5.3 Tecnología de recuperación de materiales

Estas tecnologías están basadas en el concepto de reciclaje y reutilización. El reciclaje hace referencia a la recuperación de forma directa o indirecta de los componentes de interés económico y tecnológico que se encuentran dentro los residuos sólidos urbanos. Estos materiales recuperados son empleados como materia prima para la elaboración de nuevos productos. Cuando el material recuperado vuelve a ser empleado para la función original para la que fue creado o una similar, esto se denomina reutilización.

5.4 Tecnología de eliminación final

Dentro de los sistemas de disposición final, considerados como aceptables desde el punto de vista tecnológico y sanitario, siempre y cuando cumplan con una serie de condiciones que permitan mantener la calidad de nuestros recursos, se encuentran:

- El relleno sanitario
- La incineración, aprovechable para generar electricidad

En la sección de tecnologías de transformación, se tocó el tema de incineración como un método para reducir el volumen. Este método también puede ser considerado una tecnología para la eliminación y disposición final. Esta sección se dedicará a los rellenos sanitarios como tecnología para la disposición final.

En los países subdesarrollados, alrededor de un 93% de los residuos se disponen en “rellenos sanitarios” y solo un 5% se lleva a los vertederos [Anexo 10]. El relleno sanitario consiste en el enterramiento tecnificado de los residuos, mediante la implementación de capas sucesivas apisonadas y cubierta con tierra, la cual también es compactada sobre cada capa; el último material de cobertura tiene un espesor mayor por razones de aislamiento e impermeabilización y posterior acondicionamiento de revegetalización.

Un relleno sanitario debe cumplir con las siguientes características [Anexo 10].

- Lugar adecuado: la selección a priori debe ser adecuada, toda vez que consiga la mayor seguridad
- Protección de aguas subterráneas
- Protección de aguas superficiales
- Protección visual
- Protección contra la dispersión de objetos volantes, olores y partículas
- Protección contra circulación libre (personas, animales)
- Protección contra insectos, aves, roedores, etc.
- Protección contra gases
- Periodo de proyecto mayor o igual a 10 años
- Terrenos idóneos: terrenos baldíos como canteras, minas abandonadas, fosos dejados por extracción de materiales para construcción, cárcavas, etc.
- Cobertura final con tierras de alturas mayores o iguales a 60 cm
- Camino de acceso transitable
- Caminos interiores transitables hasta frente de trabajo
- Señalización o indicación mediante vallas
- Control de residuos sólidos: basculas, laboratorio, oficina de registros
- Zona de mantenimiento
- Zonas de seguridad e higiene
- Explotación: plan de explotación, comunicaciones, manejo de residuos especiales

El proceso que lleva al desastre en botaderos a cielo abierto y en rellenos parcialmente controlados se puede apreciar en el recipiente de la basura. Tras dos o tres días en el fondo de este se forma un líquido cuyo olor penetra en cada rincón de la casa; a este líquido se le

denomina lixiviado [4]. Tal líquido por sí solo no contamina, pero unido con materiales como pilas, plaguicidas, detergentes, pinturas o abrasivos de limpieza, causa accidentes de magnitudes incontrolables cuando el agua o lluvia lo arrastra. Por esto, la contaminación puede llegar a un cuerpo superficial de agua, al propio mar o a los acuíferos subterráneos que abastecen comunidades e industrias. Por tales características negativas, deben ser minimizados e inclusive, en el largo plazo, sustituidos completamente por métodos tecnológicos de disposición final de RSU.

5.5 Tecnología de procesamiento de lixiviados

Los lixiviados son aguas residuales de la descomposición de los residuos sólidos, o aguas lluvias que se infiltran en los desperdicios hasta llegar a una cantidad de saturación donde comienza a filtrar los lixiviados. Estos son altamente contaminantes por su gran contenido de materia orgánica e inorgánica, patógenos y metales pesados [10]. Por tanto, es muy importante realizar un tratamiento a estos para mitigar el daño ambiental. Los residuos al ser almacenados en el área de recepción están propensos a liberar lixiviados. Algunos residuos llegan en bolsas a la planta estos al ser liberados en la maquina abre bolsa pueden generar lixiviados, los cuales tienen que ser dirigidos para su tratamiento. Existe varias alternativas para el tratamiento de lixiviados; se pueden clasificar de acuerdo con los niveles de tratamientos, o por los componentes contaminantes que se logran remover [11]. Estos tratamientos son seleccionados de acuerdo con la característica del lixiviado, por lo que se propone realizar un análisis a los lixiviados producidos en la planta, para luego determinar el tratamiento adecuado. Algunos tratamientos son:

- Reactores biológicos UASB, por sus siglas en inglés, de reactor anaerobio de flujo ascendente. Este contiene un lecho de lodo denso en la parte inferior del reactor, donde ocurren todos los procesos biológicos. El lodo está formado por acumulación de sólidos que se encuentran en los lixiviados entrantes. El fluido entra por la parte inferior, atravesando todo el perfil longitudinal del reactor y sale por la parte superior. Se dice que es anaerobio porque los microorganismos se agrupan formando flóculos y gránulos, generando biogás que provocan buen contacto con el fango residual y el agua a tratar [11], como se muestra en la figura 9.

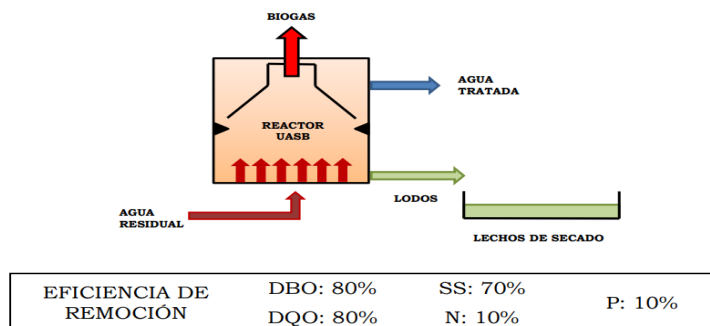


Figura 9. Sistema Anaerobio (Reactor UASB) [Lixiviados en plantas de residuos. Manuel reyes medina tesis doctoral, universidad politécnica de valencia. Pág. 63

- Evaporación: se puede utilizar la evaporación forzada del lixiviado, aprovechando los biogases generados por el vertedero, obteniendo de esta forma la energía calorífica requerida. Existe una tecnología que utiliza la vaporización del gas, para generar potencia mecánica para la producción eléctrica, mientras se evaporan los lixiviados, como se muestra en la figura 10, mitigando dos de los problemas de los rellenos sanitarios: la producción de biogás y la generación de lixiviados. La quema del metano reduce el efecto invernadero debido a que este es 15 veces más agresivo que el dióxido de carbono [11].

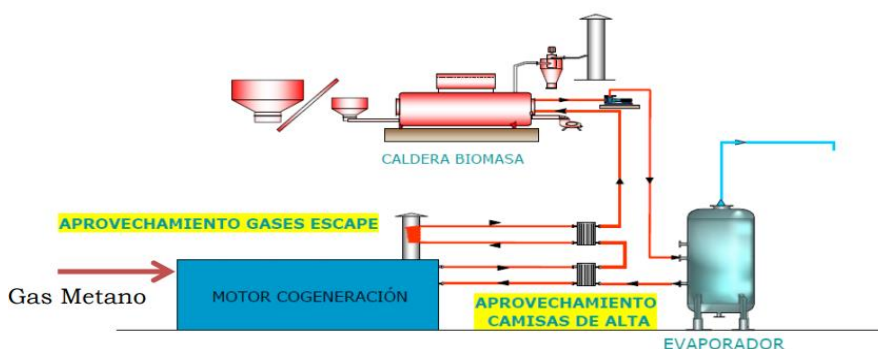


Figura 10. Sistema Evaporación de lixiviados. (Reactor UASB). Lixiviados en plantas de residuos. Manuel reyes medina tesis doctoral, universidad politécnica de valencia. página 63.

6. FORMULACIÓN DEL ESTUDIO TÉCNICO

6.1 Localización de la planta de disposición final de RSU

Habiendo realizado el análisis de la composición de los RSU que se producen en la ciudad de Pereira y en algunos municipios de su entorno geográfico, así como de la selección de la tecnología disponible en diferentes mercados del mundo, el paso siguiente es el de identificar

la macro y micro localización de la planta, con base en variables de entorno, que permitan identificar con precisión dichas localizaciones.

6.1.1 Macro localización de la planta

La macro localización de cualquier planta de transformación de materias primas en productos, en este caso, de RSU, se plantea con base en variables de orden geográfico, variables de infraestructura física y de servicios en general, en cuanto a oportunidad y calidad en su prestación, variables legales y variables de mercado [12].

Geográficamente el municipio de Pereira, con los municipios que conforman su área metropolitana, Dosquebradas, La Virginia y Santa Rosa de Cabal, y con cercanía a los municipios de Cartago, Armenia, Chinchiná y Manizales, representa la zona geográfica del eje cafetero (figura 11). Para ubicar la planta, se deben tener en cuenta las siguientes macro variables [13]:

- a. Disponibilidad de suelo de uso industrial
- b. Acceso carretable pavimentado
- c. Distancia de acopio de los RSU
- d. Disposiciones legales
- e. Redes eléctricas
- f. Redes hidráulicas
- g. Redes de alcantarillado y aguas negras
- h. Acceso a comunicaciones de calidad
- i. Servicios bancarios
- j. Acceso a servicios de salud
- k. Disponibilidad de fuerza laboral calificada.

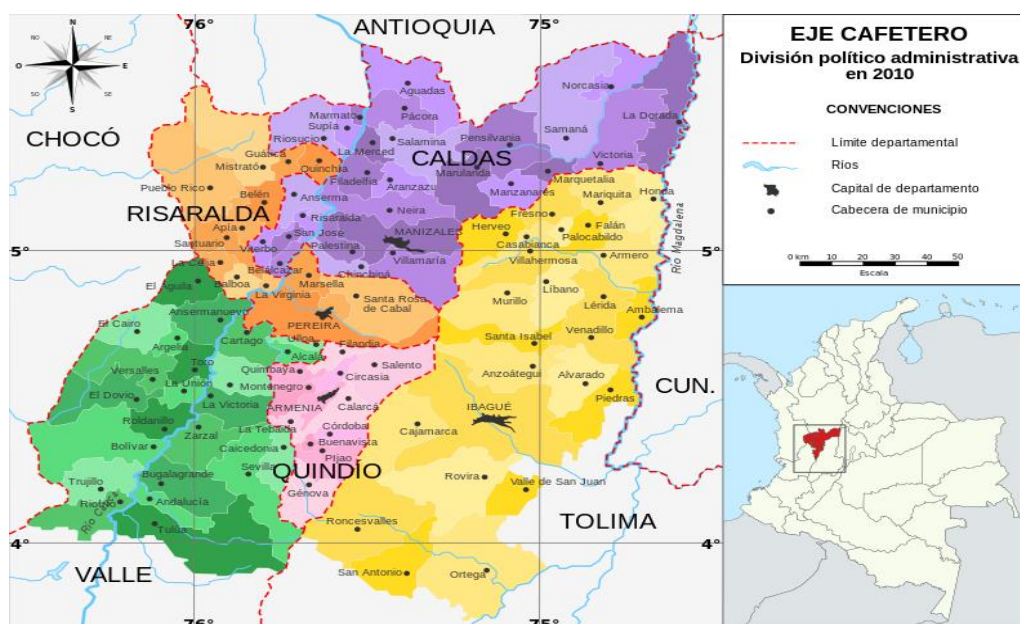


Figura 11 Mapa del Eje Cafetero. Luis Lumbler, Pinterest abril 2020. Tomado del 14/05/2020 de <https://www.pinterest.es/pin/218143175681334595/>.

Para realizar el análisis de macro localización, con base en el mapa del eje cafetero, se utilizaron indicadores factoriales de ponderación o peso cuantitativo de cada una de las variables, empleando como escala de ponderación $Po = [1-100]$ puntos. Luego cada variable ponderada se califica, $Ca = [1-10]$ y así se obtiene un valor ponderado y calificado:

$$(Po)(Ca) = [1 - 1000] \text{ puntos}$$

La ponderación o peso cuantitativo de una variable, técnica y teóricamente, cuantifica la importancia de la variable en un determinado contexto geográfico, con respecto a la naturaleza del proyecto. La calificación de una variable expresa la existencia y calidad de la variable en el contexto dado, según metodología ILPES. La ubicación geográfica que obtenga mayor valor ponderado y calificado permite establecer la macro localización del proyecto.

Tabla 16.
Matriz de Ponderación y calificación de variables. Macro localización.

VARIABLES	Po	PE Ca	Po.Ca	DO Ca	Po.Ca	SR Ca	Po.Ca	MA Ca	Po.Ca	CA Ca	Po.Ca	AR Ca	Po.Ca
Disponibilidad de suelo	100	10	1000	10	1000	10	1000	8	800	10	1000	10	1000
Disponibilidad de vías	100	6	600	5	600	4	400	6	600	10	1000	8	800
Distancia de Acopio de RSU	90	10	900	10	900	6	540	5	450	6	540	6	540

Marco legal	100	10	1000	10	1000	6	600	10	1000	5	500	8	800
Acceso Redes Eléctricas	100	8	800	10	1000	7	700	10	1000	10	1000	8	800
Acceso Redes Hidráulicas	100	8	800	5	500	5	500	9	900	8	800	8	800
Acceso Redes Alcantarillado	50	8	400	5	250	5	250	8	400	5	250	5	250
Acceso Medios de Comunicación	80	10	800	8	800	5	400	10	800	8	640	8	640
Acceso Servicios de Salud	100	8	800	6	600	5	500	10	1000	8	800	8	800
Acceso Servicios Bancarios	70	10	700	5	350	4	280	10	700	7	490	9	630
Disponibilidad Fuerza Laboral	80	7	560	8	640	4	320	8	640	6	480	7	560
Sumatorias			760		695		499		754		682		693
Promedio													

Fuente: Cálculos realizados por los autores, según metodología del Instituto Latinoamericano de Planificación Económica y Social. ILPES.2005. Pag 12-16.

Convenciones:

$Po = \text{ponderación}, Ca = \text{Calificación}, Po.Ca = \text{ponderación} \times \text{calificación}$

$\text{Sumatorias Promedio} = \Sigma (Po.Ca) / \text{Número de variables.}$

$PE = \text{Pereira}, DO = \text{Dosquebradas}, SR = \text{Santa Rosa de Cabal}, MA = \text{Manizales}, CA = \text{Cartago}, AR = \text{Armenia.}$

De la matriz de resultados expuesta en la tabla 16, puede inferirse que la ciudad de Pereira es la mejor ranqueada en el proceso de macro localización con 760 puntos (76%). La segunda macro localización es la ciudad de Manizales con 754 puntos o 75.4%. La tercera y cuarta ciudades en importancia son Dosquebradas y Armenia con 695 y 693 puntos o 69.5 % y 69.3%, respectivamente. Es importante tener en cuenta las evaluaciones de las otras ciudades, para el caso que puedan existir dificultades administrativas con la ciudad de Pereira.

6.1.2 Micro localización de la planta

Una vez realizada la macro localización, se construye la matriz de micro localización, teniendo como referente el mapa de la ciudad de Pereira (figura 12). Dicha matriz se presenta en la tabla 16, y se utilizan las mismas variables ponderadas y calificadas, excepto la variable disponibilidad de fuerza laboral.

Consulta SIGPER Municipio de Pereira

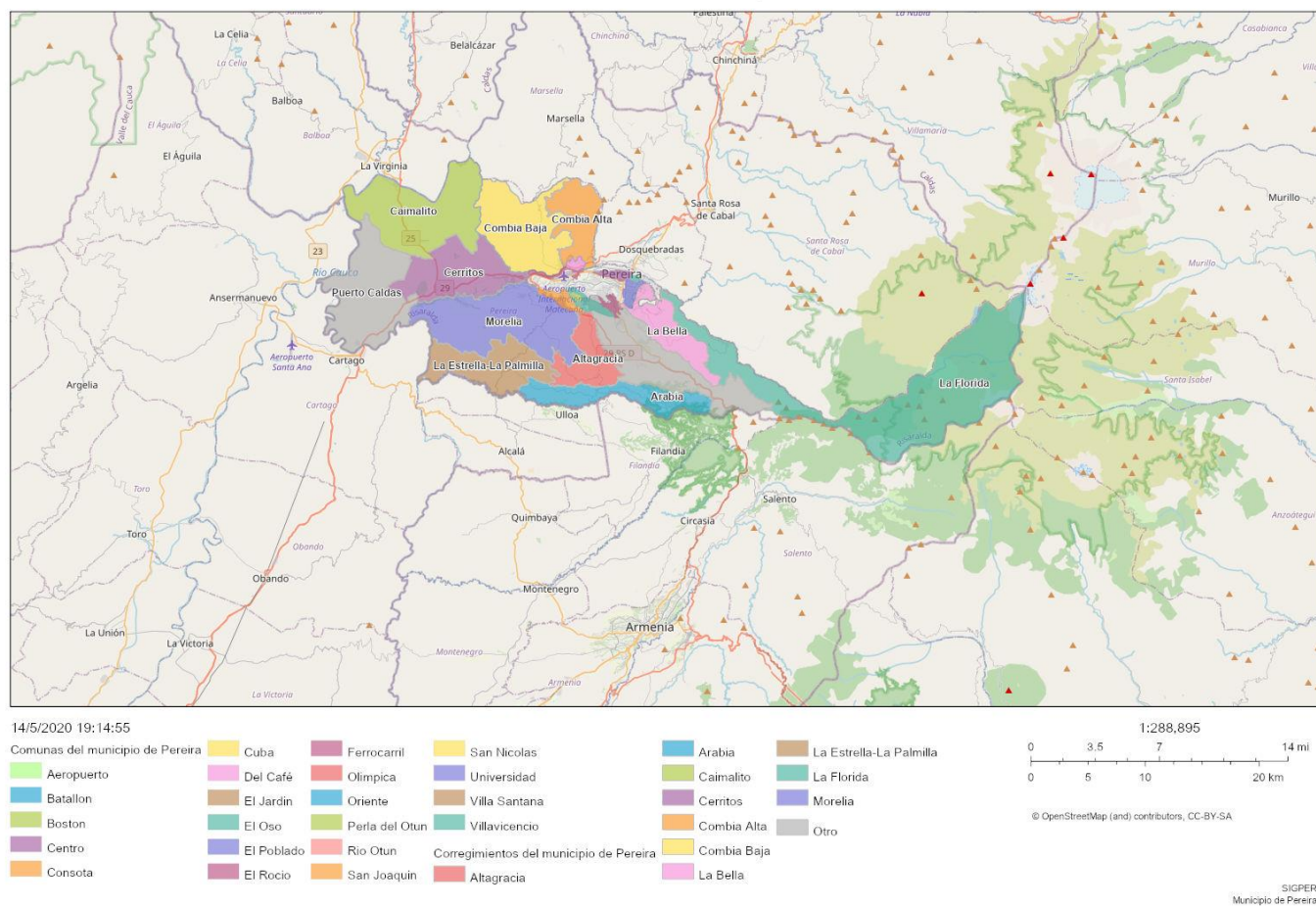


Figura 12 Mapa del municipio de Pereira, Alcaldía de Pereira, acuerdo municipal N. 35 2016. Tomado el 14/05/2020 de <https://pereira.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=675a19df972c401d8c88c0ebfa869805>

Tabla 17
Matriz de Ponderación y calificación de variables. Micro localización.

VARIABLES	<i>Po</i>	<i>MLA</i> <i>Ca</i>	<i>Po.Ca</i>	<i>MLB</i> <i>Ca</i>	<i>Po.Ca</i>	<i>MLC</i> <i>Ca</i>	<i>Po.Ca</i>	<i>MLD</i> <i>Ca</i>	<i>Po.Ca</i>	<i>MLE</i> <i>Ca</i>	<i>Po.Ca</i>
Disponibilidad de suelo	100	10	1000	10	1000	10	1000	8	800	10	1000
Disponibilidad de vías	100	8	800	9	900	4	400	6	600	10	1000
Distancia de Acopio de RSU	100	10	1000	10	1000	6	600	5	500	6	600
Marco legal	100	10	1000	10	1000	6	600	10	1000	5	500
Acceso Redes Eléctricas	100	8	800	10	1000	7	700	10	1000	10	1000
Acceso Redes Hidráulicas	100	8	800	8	800	5	500	9	900	8	800
Acceso Redes Alcantarillado	50	5	250	5	250	5	250	8	400	5	250
Acceso Medios de Comunicación	100	10	800	8	800	5	500	10	1000	8	800
Acceso Servicios de Salud	100	8	800	6	600	5	500	10	1000	8	800
Acceso Servicios Bancarios	80	10	800	5	400	4	320	10	800	7	560
Sumatorias											
Promedio			805		776		537		780		728

Fuente: Cálculos realizados por los autores, según metodología del Instituto Latinoamericano de Planificación Económica y Social. ILPES.2005. Pag 12-16.

El resultado de la matriz en la tabla 17 de micro localización de la planta muestra que la mejor localización es el relleno sanitario de la Glorita con 805 puntos o el 80.5%, y como segunda opción, el corregimiento de Puerto Caldas con 780 puntos o el 78%.

Convenciones:

Po = ponderación,

Ca = Calificación

Po.Ca = ponderación \times calificación.

Sumatorias Promedio = $\Sigma (Po.Ca) / \text{Número de variables}$.

MLA = Micro localización A, relleno sanitario de la Glorita

MLB = Micro localización B, relleno sanitario Atesa de Occidente

MLC = Micro localización C, Zona Franca Industrial de Caimalito

MLD = Micro localización, corregimiento de Puerto Caldas

D.MLE = Micro localización E, corregimiento de Arabia.

La información para ponderar y calificar cada variable propuesta se obtuvo del estudio, socioeconómico de corregimientos y veredas del municipio de Pereira presentado por la secretaria de educación en el 2015.

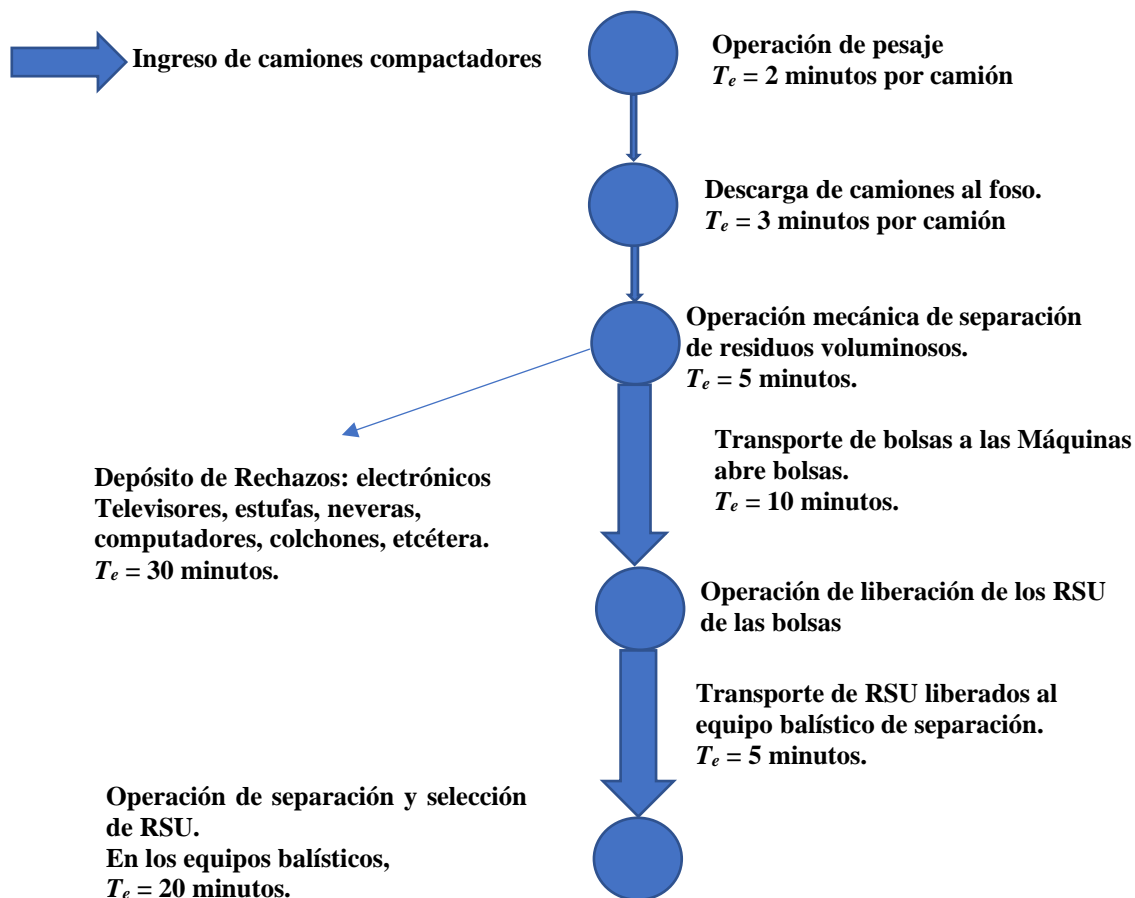
El resultado de la matriz de micro localización de la planta muestra que la mejor localización es el relleno sanitario de la Glorita con 805 puntos o el 80.5%, y como segunda opción, el corregimiento de Puerto Caldas con 780 puntos o el 78%.

6.2 Formulación del proceso de disposición tecnológica de RSU.

El proceso de la disposición final tecnológica de RSU es complejo, pues como planta tecnológica tiene las mismas condiciones de una planta de transformación industrial. Esto implica que se necesita de la formulación de una infraestructura física amplia, funcional y de bajo impacto con su medio ambiente. La planta debe incluir equipos y accesorios complementarios que permiten su operación exitosa y eficiente, para la disposición final de RSU en Pereira. Con los productos recuperados de valor agregado económico, se puede recuperar en el mediano plazo la inversión que es necesario realizar para poner en operación la citada planta. Para analizar este proceso se utilizó la técnica de diagrama de flujo [12-14].

6.2.1 Diagrama de flujo del arribo de los residuos

El proceso tecnológico de reducción y disposición final de RSU empieza en el área de pesaje inicial y descarga en el foso o bunker, que debe ser cubierto, con sistema de aireación y drenajes, como que se detalla a continuación:



En la primera parte del diagrama de flujo se han mostrado los siguientes eventos del proceso:

- Llegada de los camiones compactadores, recolectores de RSU, al lugar de pesaje, donde se dispondrá de seis básculas camioneras con capacidad hasta de 40 t (16 m de longitud), que es aproximadamente la masa bruta del camión más su carga de RSU (masa del camión 20 t + 10 t de RSU, camiones de última generación en diversas marcas).
- Operación de pesaje, en la que un operario dentro de una cabina controla y registra en forma digital el peso de la masa de RSU que serán vertidos al foso. Tiempo estimado de pesaje y vertimiento = 5 minutos.
- Dos camiones con residuos voluminosos vierten su carga en el depósito de rechazos. Los elementos voluminosos son colchones, escritorios de madera y metal, televisores, hornos eléctricos, computadores, partes de equipos de sonido, neveras, heladeras,

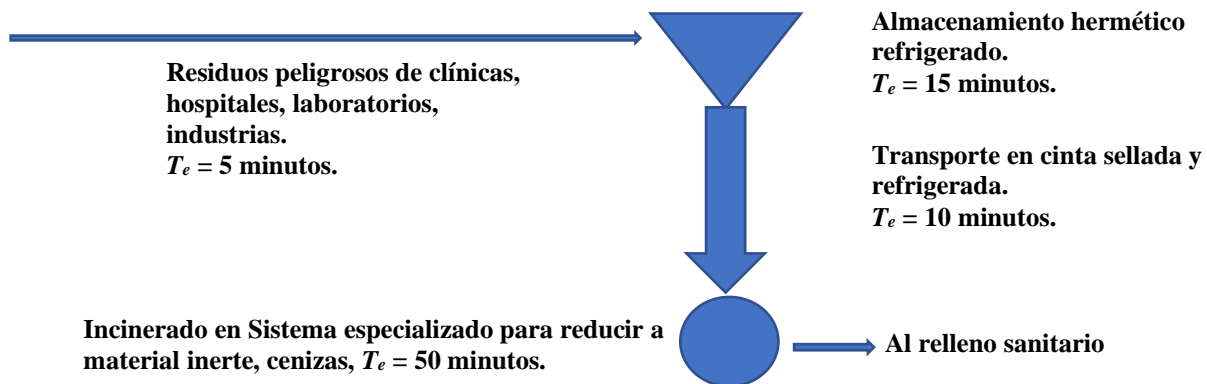
estufas, llantas usadas, tubería larga, cables recubiertos y pelados, etcétera. Estos residuos grandes tendrán una disposición final especializada, pues en ellos hay componentes recuperables y reciclables. El tiempo estimado de esta operación, $T_e = 10$ minutos. Los camiones se retiran, luego se acercan dos más, y así sucesivamente.

- En una línea de descarga especial y en un depósito sellado se vierten los residuos peligrosos que irán transportados por cintas selladas directamente al horno de incineración.
- Liberados los residuos grandes o voluminosos, quedan cuatro camiones que vierten las bolsas y los residuos sueltos en el foso, y de este serán transportados por una cinta, hasta la máquina abre bolsas. Tiempo estimado de la operación de transporte = 10 minutos para la llegada. Los camiones se retiran y se arriman cuatro más y así sucesivamente.
- En la máquina abre bolsas los RSU son liberados y descargados en una cinta transportadora hacia cuatro equipos balísticos a una tasa de 110 a 170 m³/h. Tiempo estimado de la operación = 60 minutos para procesar y seleccionar hasta 140 m³/h.
- En los equipos balísticos está el epicentro del proceso de separación de los RSU, como puede apreciarse en la figura 2, los residuos son separados en tres fracciones: 3D rodantes, pesados, botellas de vidrio, latas y envases de hojalata, baterías secas, elementos metálicos de hierro, cobre aluminio, etcétera. 2D planares, ligeros, papeles, cartón, bolsas plásticas, Tetrapak, etcétera. Finos: restos alimenticios, inertes (arena) y otros residuos. Tiempo estimado total desde el ingreso; $T = 85$ minutos.

6.2.2 Diagrama de flujo de residuos peligrosos

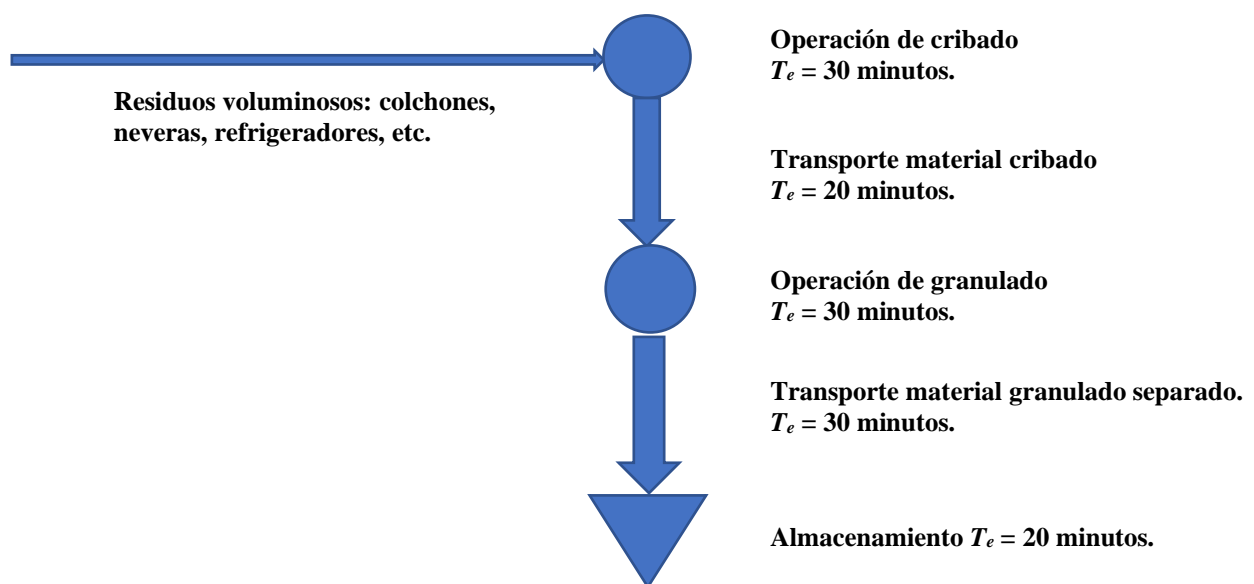
Por sus características infectocontagiosas, los denominados residuos peligrosos para la salud humana y para el medio ambiente son tratados en forma hermética, tanto en su recolección, transporte desde el origen, vaciado en foso sellado y transporte en cinta sellada y refrigerada, hacia el sistema de incineración, como el de la figura 5.

Las cenizas producidas van al relleno sanitario para ser enterradas como material inerte. El diagrama de flujo es como sigue:



El tiempo esperado para disposición final de residuos sólidos urbanos peligrosos para incinerar un total de 10 toneladas es de 80 minutos aproximadamente.

6.2.3 Diagrama de flujo de residuos voluminosos

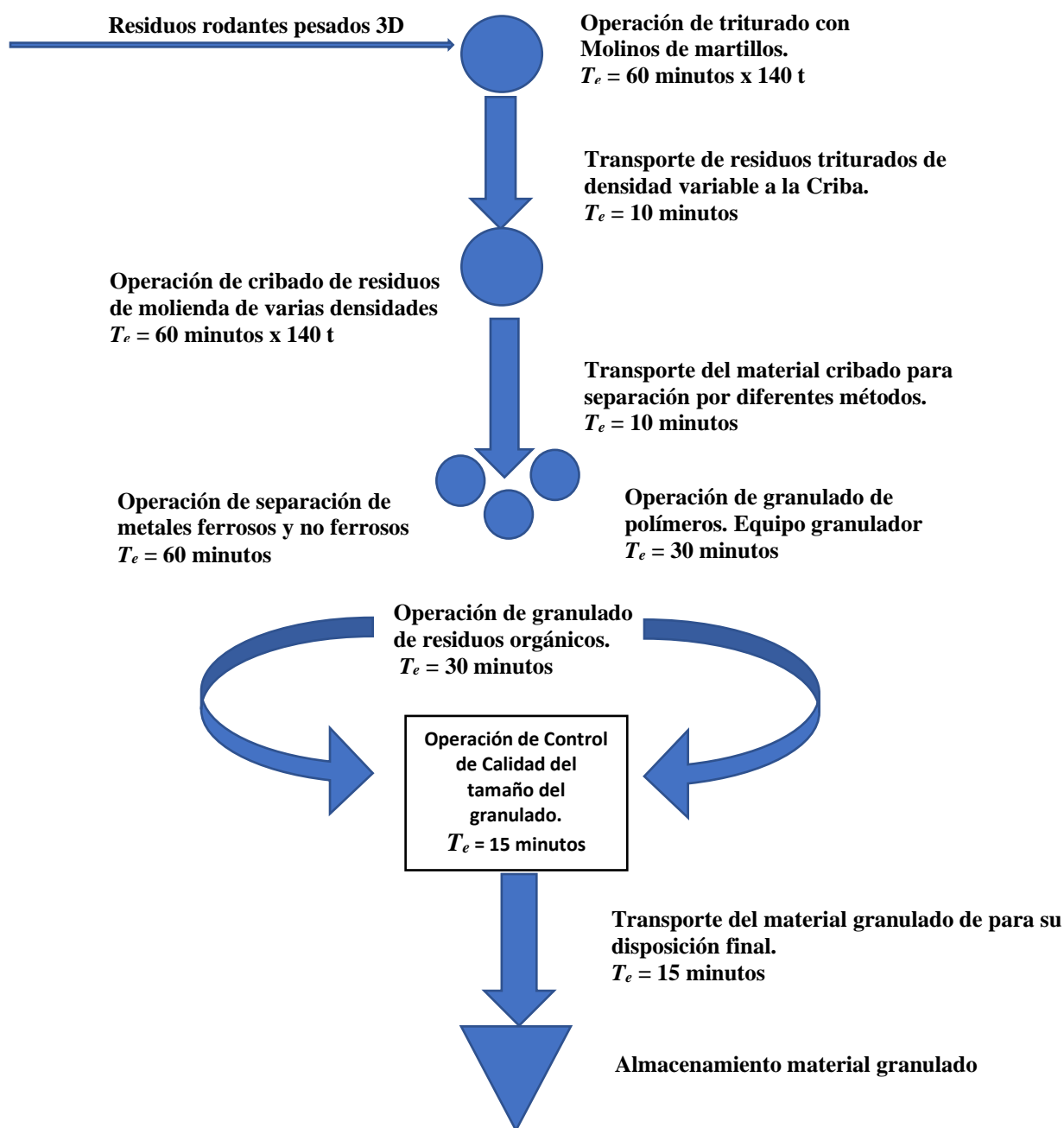


El tiempo estimado de procesamiento de la línea de residuos voluminosos es de, $T_e = 100$ minutos, para cribar, granular y almacenar para la disposición final, de 140 t/h.

6.2.4 Diagrama de flujo de residuos rodantes “3D”

El separador balístico, después de haber completado su operación, por medio de cintas transportadoras, conduce los materiales pesados rodantes 3D hasta cuatro molinos

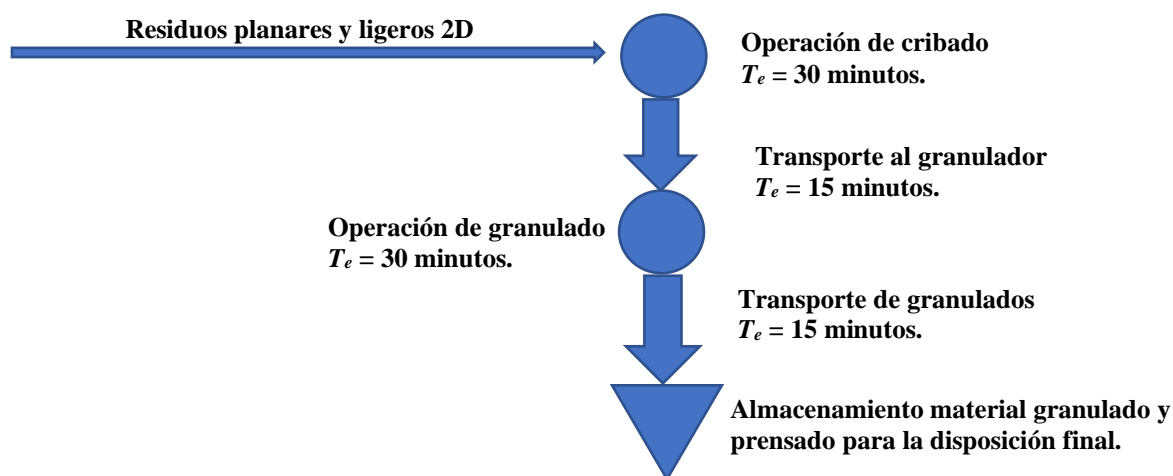
trituradores de martillos, como el mostrado en la figura 5, con sus correspondientes especificaciones tecnológicas. El flujograma de este proceso es:



Cuando los molinos de martillos han realizado el trabajo de trituración, se producen trozos de RSU de diferentes densidades, es decir de materiales y tamaños diversos, del material rodante 3D, a una tasa de rendimiento máximo de 80 toneladas cada 60 minutos. Esto implica que en jornadas de 10 horas se puede realizar la trituración de 800 toneladas de RSU pesados

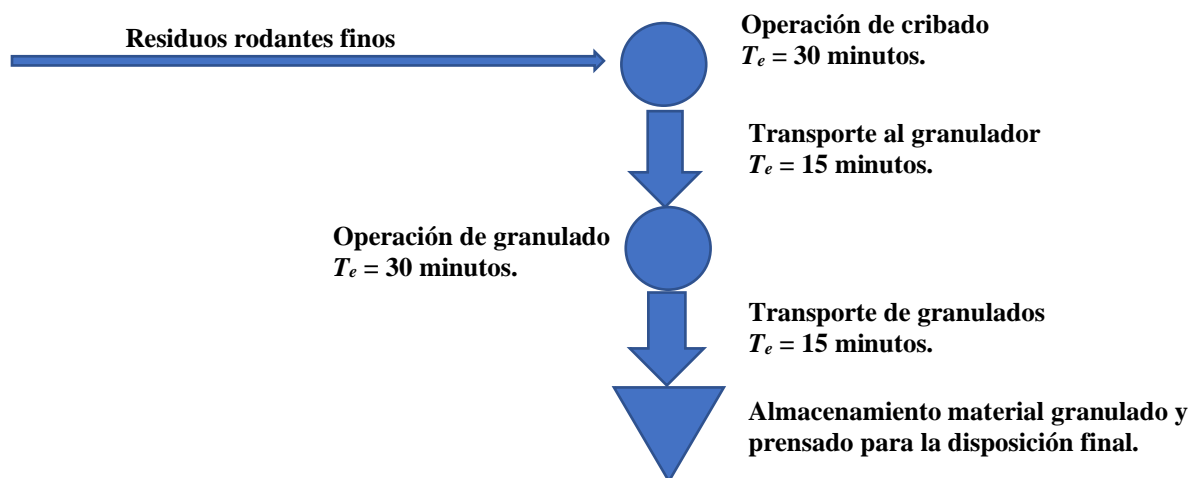
o del tipo rodante 3D. Estos residuos triturados son transportados por cintas, durante un tiempo de 10 minutos, para ser descargados en cuatro cribas de disco, como la mostrada en la figura 6. Desde aquí se procede a la reducción de tamaño y a la separación de los diferentes materiales triturados, los cuales son de nuevo transportados a un equipo separador de metales y a dos equipos granuladores, uno de materiales plásticos (polímeros) y otro de materiales orgánicos de procedencia vegetal, mas no residuos de alimentos.

6.2.5 Diagrama de flujo de residuos planares y ligeros “2D”



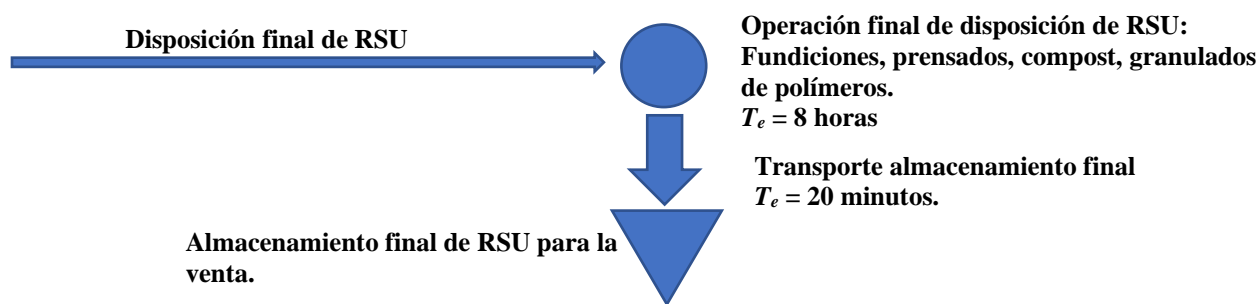
El tiempo estimado para esta línea de disposición final de RSU, es de, $T_e = 90$ minutos.

6.2.6 Diagrama de flujo de Residuos finos.



El tiempo estimado para la operación de la sexta línea de disposición final es de $T_e = 90$ minutos.

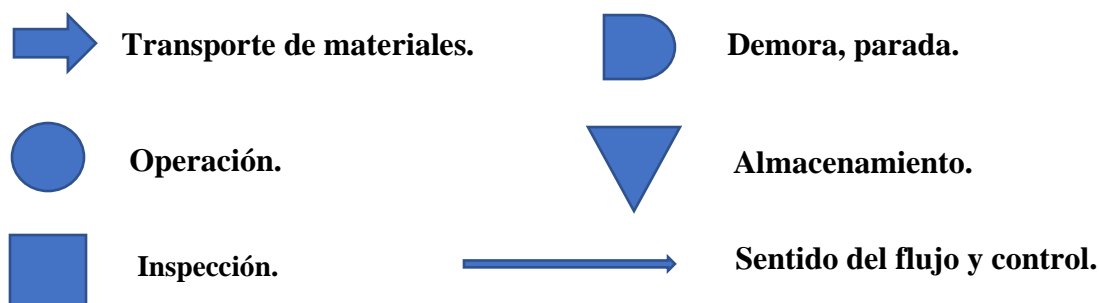
6.2.7 Diagrama de flujo hacia la disposición final



Cuando se ha realizado la disposición final de los RSU que ingresan a la planta, se han obtenido productos recuperados y de reciclaje para la venta como materias primas, tales como: lingotes de arrabio, lingotes de aluminio, lingotes de cobre aleado, material granulado de polímeros de diferente densidad, vidrio triturado, papel prensado, desmechados de algodón y otros materiales. Estas materias primas tienen un valor económico en los mercados nacionales e internacionales y son la fuente de ingresos para para el funcionamiento administrativo y financiero de la planta, más los pagos que realizan los generadores de RSU.

En el anexo 11 se puede apreciar un bosquejo del diagrama de flujo completo de la planta, que incluye en conjunto las diferentes líneas de diagrama de flujo ya expuestas. Además, muestra algunos equipos que cumplirán las operaciones de separación y transformación de los RSU.

CONVENCIONES PARA EL DIAGRAMA DE FLUJO



6.3 Formulación de la distribución de la planta.

El objetivo principal de la distribución eficaz de una planta para la disposición final de RSU consiste en desarrollar un sistema de producción que permita la reducción del número deseado de toneladas de residuos con la calidad que se requiere y a bajo costo. La distribución

física constituye un elemento importante de todo sistema de producción que incluye tarjetas de operación, control de inventarios, manejo de materiales, programación, enrizamiento y despacho [15]. Todos estos elementos deben estar cuidadosamente integrados para cumplir con el objetivo establecido. Una distribución de las plantas da como resultado elevados costos operacionales.

6.3.1 Distribución espacial

En general, todas las distribuciones de la planta representan una o la combinación de dos distribuciones básicas: distribución por producto o en línea recta y distribución por funciones o por procesos. En la distribución en línea recta, la maquinaria se ubica de tal manera que el flujo de una operación a la siguiente sea el mínimo para cualquier clase de producto. Este tipo de distribución es muy popular en cierto tipo de manufactura de producción masiva, debido a que los costos asociados con el manejo de materiales son menores a los que genera el agrupamiento por procesos. Para este caso, el diseño de la distribución espacial de la planta para la disposición final de RSU será lineal y de altura. Esta distribución se consideró necesaria, para evitar transportes muy largos. Igualmente se definieron siete líneas de procesamiento para la disposición final de RSU, con los siguientes requerimientos y según el flujograma establecido en partes [Anexos 12-13]:

- Línea de transformación 1. Por esta línea ingresarán todos los residuos en bolsas y harán el recorrido como se estableció en diagrama de flujo en la primera parte.
- Línea de transformación 2. Ingresarán por ella todos los residuos peligrosos, hasta su disposición final como se muestra en el diagrama de flujo en la segunda parte.
- Línea de transformación 3. En esta línea se hará disposición de todos los residuos voluminosos hasta su disposición final como se estableció en el flujograma en la tercera parte.
- Líneas de transformación 4, 5 y 6. A lo largo de estas líneas se hará disposición de los residuos rodantes pesados 3D, residuos planares y ligeros 2D y residuos finos, obtenidos del equipo balístico, según el flujograma de cada caso.
- Línea de disposición final de RSU.

Para albergar los equipos y máquinas para cumplir con las líneas de transformación propuestas, los requerimientos de área física y de altura de la planta, en m² y en m, son como se muestra en el balance de la tabla 17.

Tabla 17.
Balance de requerimiento de área y altura

Aplicación	Área [m ²]	Altura [m]	Pisos	Paredes	Observaciones
Patio de descarga	400	6	Tráfico pesado	Sin paredes	En acero estructural abierto.
Foso de vertimiento	400	5	Losas concreto	Concreto armado	El foso tendrá: 20x20x5 metros = 2000 m ³
Depósito de Residuos voluminosos	400	5	Losas concreto	Concreto armado	El depósito tendrá: 20x20x5 metros = 2000 m ³
Deposito Residuos peligrosos	200	5	Losas concreto	Concreto armado	El depósito tendrá: 10x10x5 metros = 2000 m ³ y sellado.
Nave para las líneas	4,000	8	Losas concreto	Concreto armado	En acero estructural cerrado con paredes de concreto armado.
Área de servicios complementarios.	600	6	Losas concreto	Ladrillo a la vista	En acero estructural cerrado con paredes de ladrillo.
Área administrativa	200	3	Baldosa	Anti ruido	Paredes estucadas y pintadas según normas
Área de baños y Vestier	200	3	Baldosa	Anti ruido	Paredes pintadas y señalizadas. Normas
Área de Almacenaje	600	8	Baldosa	Concreto armado	Puertas corta fuegos y señalizadas. Normas
Área de despacho	400	6	Losas concreto	Ladrillo a la vista	Paredes estucadas y pintadas según normas
Áreas exteriores	1,000	-	Vías	-	Vías, andenes, jardines. Normas
Suma de áreas (m ²)	8,400				

Fuente: Cálculos realizados por los autores, Pereira.2020

6.3.2 Requerimientos de máquinas y equipos

Teniendo como base el requerimiento de áreas, expresado en la tabla 17, se elaboró el requerimiento de máquinas y equipos, para insertar estos en las áreas calculadas y tener entonces la infraestructura de equipamiento para realizar el proceso tecnológico de transformación y disposición final de RSU, como se aprecia en la tabla 18.

Tabla 18.
Requerimiento de equipo y maquinaria

Maquina o Equipo	No	Capacidad de procesamiento [t/h]	Longitud [m]	Potencia [kW]	Masa [kg]
Basculas camioneras	4	-	16	-	-
Cargadoras hidráulicas	3	50	6.7	5	6,400
Molinos de Martillos	4	20	5	15	16,500
Máquinas abre bolsas	2	20	10	75	14,500
Equipos Balísticos	1	30	10	6	14,500
Equipo de Incineración	1	15	12	-	19,600
Cintas Transporte	20	30	10-20	2	1,500
Cinta de transporte sellada	2	10	10-20	3	1,600
Cribas	4	20	10	15	8,000
Equipo Granulador	4	30	16	215	17,500
Separador Magnético	2	10	5	15	9,000
Reactor compostaje horizontal	1	15	30	20	18,000
Empacadora de compost	1	20	15	5	6,500
Horno eléctrico de fundición	1	30	12	5	12,000
Hornos a gas no ferrosos	3	20	10	4	9,600
Planta eléctrica	1	-	15	500	10,500
Compresor de aire	1	-	6	8	6,500
Generador de vapor. Caldera	1	-	15	8	10,500
Tanque de GLP	1	-	12	-	15,000
Tanques de combustibles	3	-	12	-	12,000
Depósito de agua	1	-	10	-	16,000
Maquina extinción de fuego	1	-	12	100	9,500
Hidro lavadoras	4	-	4	3	2,000
Equipos transporte interno	6	-	6	80	6,000
Torno (mantenimiento)	1	-	3	5	4,000
Taladro de columna (mantento)	1	-	2	3	2,000
Sierra mecánica de corte	1	-	3	3	1,000
Equipo de soldadura eléctrica	1	-	2	-	650
Kit para el equipo de soldadura	1	-	-	-	50
Taladros eléctricos de mano	4	-	-	0.75	4
Cortadoras manuales de sierra	4	-	-	0.75	5
Prensa hidráulica	1	-	3	2.5	3,500
Kits de herramientas de mano	4	-	-	-	40
Kits de herramientas eléctricas	4	-	-	-	50
Kits de primeros auxilios	10	-	-	-	3

Fuente: Selección realizada por los autores con base en manuales comerciales de diferentes empresas nacionales e internacionales. Pereira.2020.

En el listado de requerimientos de la tabla anterior, se han consignado los equipos, máquinas y accesorios de mayor necesidad para la operación exitosa y productiva en la formulación del diseño de la planta.

6.3.3 Requerimientos de talento humano

La formulación del diseño de la planta para la disposición final de RSU, en la ciudad de Pereira, plantea un requerimiento de talento humano, en tres niveles: primer nivel, talento humano con conocimientos administrativos e ingenieriles, con formación universitaria de pregrado; segundo nivel, talento humano con conocimientos y experiencia técnica

operacional en mantenimiento industrial; tercer nivel, talento humano con conocimientos y experiencia técnica operacional en manipulación de equipos. En este orden de ideas, el requerimiento de talento humano se formula en la tabla 19.

Tabla 19.
Requerimiento de Talento Humano

Talento Humano	No	Especialidad	Experiencia	Perfil Personal
Gerente general	1	Ingeniero Industrial	5 años	Fortalezas: Liderazgo, Resiliencia, Cambio Compromiso
Gerente de Planta	1	Ingeniero Mecánico	5 años	Fortalezas: Liderazgo, Resiliencia, Cambio Compromiso
Director Mantenimiento	1	Ingeniero Industrial	5 años	Fortalezas: Liderazgo, Resiliencia, Cambio Compromiso, Programador
Asistente Mantenimiento	1	Ingeniero Mecánico	10 años	Fortalezas: Resiliencia, Cambio Compromiso, Solucionador
Operarios de equipos	20	Técnicos SENA	10 años	Fortalezas: Resiliencia, Compromiso, Solucionador
Operarios mantenimiento	10	Técnicos SENA	10 año	Fortalezas: Resiliencia, Compromiso, Solucionador
Operarios Mecánicos	8	Técnicos SENA	10 años	Fortalezas: Resiliencia, Compromiso, Solucionador
Contador	1	Contador Público	10 año	Fortalezas: Resiliencia, Compromiso, Honestidad, Transparencia
Sistemas	1	Ingeniero en sistemas	10 años	Fortalezas: Resiliencia, Compromiso, Honestidad, Transparencia
Programación y control	5	Tecnólogos	5 años	Fortalezas Resiliencia, Compromiso, Honestidad, Transparencia
Asistentes administrativos	10	Tecnólogos	5 años	Fortalezas: Resiliencia, Compromiso, Honestidad, Transparencia
Conductores	5	Bachiller	10 años	Fortalezas: Resiliencia, Compromiso, Competencia
Operarios de hornos	6	Técnicos SENA	10 años	Fortalezas: Resiliencia, Compromiso, Solucionador
Servicios generales	15	Bachiller	3 años	Fortalezas: Resiliencia, Compromiso
RECURSO HUMANO	85			

Fuente: Estimaciones realizadas por los autores. Pereira. 2020

6.4 Formulación del diseño de señalización de las áreas de la planta

El diseño de la señalización de las áreas operacionales y complementarias de la planta está en concordancia con normas internacionales ISO y las normas ICONTEC. Las normas técnicas 1461 y 1462 están relacionadas con los códigos, el tipo y colores de seguridad utilizados para la prevención de accidentes, enfermedades profesionales y situaciones de

emergencia (señalética), que se puedan presentar en el ambiente laboral, en tres campos concretos [Anexo 14]

- Señalización de vías de acceso y áreas de circulación exteriores.
- Señalización de áreas de seguridad y de circulación interna o de planta.
- Ropa de seguridad de todo el personal que labora en la planta y de los visitantes.

6.4.1 Señalización de vías de acceso y áreas de circulación exteriores

De acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC 1461 (Anexo 15), el primer aspecto de señalización que debe tenerse en cuenta es el código de colores y la señalética en vías de acceso y áreas externas a una empresa, como patios de carga y descarga, andenes, zonas verdes, áreas de circulación de peatones. En general, la citada norma define los siguientes códigos de colores y su contraste, así como las señales de seguridad, como se muestra en la figura 13.



Figura 13. Código de colores, contraste y señales de seguridad para demarcación de vías y áreas externas. NTC 1461

Según el manual de señalización vial, las normas internacionales para las entidades que regulan el tránsito en calles, carreteras y ciclorrutas de Colombia, (Ver ANEXO 16) En este

Manual, se encuentran formuladas toda la señalética de prohibición, prevención y obligatorias para vías de acceso a una empresa.

6.4.2 Señalización de áreas de seguridad y de circulación interna o de planta

La señalización de una planta de disposición final de RSU, dadas las características contaminantes y los riesgos laborales que esto implica, debe cumplir cuidadosa y rigurosamente todas las normas establecidas en el Catálogo General de Señales de Seguridad de 2018, acorde con las Normas UNE-ISO 7010-2012 (Ver ANEXO 15) y que en general debe tener en cuenta:

- Señalización de extinción de incendios, como: advertencia de peligro, de localización de equipos de lucha contra incendio, de localización de alarmas luminosas y de sonido en caso de incendio, explosión, escape de gases, inundación u otro tipo de riesgo, detectores de humo, con código de color rojo y contraste blanco.
- Señalización de evacuación, como: señales de vías de evacuación, señales de salidas de emergencia, señales de socorro y salvamento, con código de color verde y contraste blanco.
- Señalización industrial, tales como: señalización de obligación, peligro y prohibición (ISO-7010), planos de evacuación y emergencia, accesorios y cintas de señalización de seguridad, señalización de seguridad y protección laboral, señales combinadas, señalización de información general, señalización de mercancías o productos peligrosos, señalización de tuberías y ductos, señalización de riesgos de contaminación, señalización de envases, señales para la gestión de reciclado de residuos, espejos de visualización y control, señalización de cámaras de vigilancia y control de procesos, señalización para el marcaje de pisos (Ver Anexo 16).

El marcaje de piso desempeña un papel importante para crear y mantener una planta más ordenada, segura y eficiente. Acorde con la Norma OSHA-45001-2018, el marcaje de pisos, incrementa la seguridad de todo el recurso humano que labora en la planta.

7. CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se presentó la formulación del diseño de una planta de recuperación y tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) para la ciudad de Pereira. El objetivo ha sido formular el diseño de dicha planta, considerando los procesos de tecnológicos de logística de acopio en el sitio, así como la recuperación, transformación y disposición final de los residuos sólidos inertes. Este diseño pretende resolver la problemática que tiene el municipio de Pereira con el tratamiento de residuos sólidos, desaprovechando los materiales recuperables de los desechos, y conjuntamente agravando y deteriorando el medio ambiente de la ciudad. Con la intención de contextualizar el manejo de residuos sólidos, se han expuesto los conceptos, características, propiedades y estructura de los residuos sólidos, además de las tecnologías de transformación y tratamiento de los desperdicios. Esto ha servido para conocer y comprender cómo funciona la gestión integral de residuos sólidos para un adecuado manejo de los despojos.

Para la formulación propuesta, se investigó la caracterización de la composición de los RSU en la ciudad de Pereira, analizando trabajos previos sobre el tema de plantas receptoras y transformadoras de estos, e informes de la Alcaldía sobre el manejo de los residuos sólidos en la ciudad, arrojando como resultado una producción per cápita de 1.08 kg/hab-día en el año 2015, según estudio realizado por la empresa Attesa de Occidente S.A. ESP. Conjuntamente, se estudiaron los porcentajes de tipos de residuos que se generan en la ciudad, identificando que la fracción orgánica supera el 50% de composición de RSU del municipio [1]. De igual manera, se conoce la cantidad de materiales recuperables desde la informalidad; se puede apreciar que no se aprovechan los residuos orgánicos para una producción de compost. Las investigaciones arrojaron que los ciudadanos no hacen una preclasificación de los residuos sólidos en la fuente, lo que dificulta el proceso de recuperación y disposición final de los despojos.

También, se consultaron las características y especificaciones tecnológicas de la maquinaria y equipos, determinando que estos equipos están disponibles en países como Italia y China, entre otros. Igualmente, se consultó sobre las tecnologías de procesamiento de RSU, adquiriendo conocimiento en la formulación del diseño del proceso de separación y transformación de los RSU, para seleccionar de manera adecuada los equipos y accesorios que permitieran tener un mayor aprovechamiento de materiales a recuperar.

Se formuló el proceso de separación, manejo, transformación y disposición final de base tecnológica de RSU, seleccionando los equipos adecuados de acuerdo con las características de los residuos sólidos de la ciudad de Pereira, dando como resultado el diseño de una planta que asocia las tecnologías de recuperación y eliminación de residuos sólidos para reducir la cantidad de desperdicios que van a parar al relleno sanitario. Además, se formuló el requerimiento de talento humano necesario para el funcionamiento de la planta. Conjuntamente se realizó la macro y micro localización de la planta por medio del método de indicadores factoriales de ponderación, cuantificando la importancia de las variables de orden geográfico, variables de infraestructura física, como redes eléctricas y redes hidráulicas, entre otras, de acuerdo con la naturaleza del proyecto. Así se logró plantear la macro localización en la ciudad de Pereira con un puntaje de 760 puntos (76%) y la micro localización en el relleno sanitario La Glorita con 805 puntos (80.5%), resultados que se pueden apreciar en las tablas 15 y 16 respectivamente. Adicionalmente, se formuló la distribución espacial de la planta en forma lineal y de altura conformada por siete líneas de transformación que permiten la reducción del número de toneladas con la calidad requerida a un bajo costo, utilizando la técnica de diagrama de flujo. Asimismo, se calculó el balance de requerimientos de áreas y alturas de los espacios, el cual fue de 8400 metros cuadrados, lo que se puede apreciar en la tabla 17. Finalmente, se formuló la señalización de las instalaciones para prevenir los accidentes, enfermedades y situaciones de emergencia. Cabe resaltar que la cristalización de esta planta trae consigo una reducción del costo del relleno sanitario, al disminuir la cantidad de volumen de residuos sólidos que llegan a su disposición final, aumentando así la vida útil del relleno sanitario. Conjuntamente daría un impacto positivo a la opinión pública, por aumentar la responsabilidad ambiental de la ciudad, mejorando así la estética de la ciudad.

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda, como continuación de este proyecto, realizar los planos de los diferentes sistemas que requiere la instalación como lo son: planos estructurales, planos eléctricos y planos hidráulicos, entre otros. Un factor determinante para el correcto funcionamiento de una instalación como esta es el sistema de gestión de mantenimiento, el cual permite proteger y preservar los equipos de la planta. Por ende, es muy importante diseñar un sistema de

gestión de mantenimiento para los equipos. Dentro de los estudios que se necesitan para determinar si un proyecto es rentable económicamente está el estudio económico con la determinación de costo de operación, inversión y gastos administrativos, con el fin de realizar el análisis financiero de la planta para determinar el presupuesto de inversión, el punto de equilibrio, además de conocer en cuánto tiempo se recupera la inversión.

Este trabajo se basó en datos e información de estudios realizados hasta el año 2015; por tanto, surge la pregunta: ¿existe un cambio significativo en las características de los RSU producidos en la ciudad? Por ende, sería recomendable realizar un muestreo de los residuos para actualizar la información que se tienen de ellos y tener menos incertidumbre.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alcaldía de Pereira, Actualización del Plan Municipal de Gestión Integral de Residuos Sólidos PGIRS 2015-2027.
- [2] BACA. Urbina, Gabriel. Evaluación de Proyectos. Séptima Edición. Editorial McGraw Hill. México. 2014, pág 311.
- [3] COLOMER. Mendoza, Francisco José, GALLARDO. Izquierdo, Antonio. Tratamiento y Gestión de Residuos Sólidos, Valencia, Universidad Politécnica de Valencia Serv. Publ, 2007, pág. 328.
- [4] CATÁLOGO GENERAL DE SEÑALES DE SEGURIDAD. OSS Covadonga. Alta visibilidad y seguridad vial. España. 2018, pág 91.
- [5] INSTITUTO LATINOAMERICANO DE PLANIFICACIÓN ECONÓMICA Y SOCIAL, ILPES. Guía para la presentación de Proyectos. Siglo XXI Editores. México.1974, pág 226.
- [6] MEYERS. Fred. STEPHENS. Matthew. Diseño de Instalaciones de Manufactura y Manejo de Materiales. Tercera Edición. Editorial Pearson Prentice Hall. México. 2006, pág 280.
- [7] MORALES. Castro, Arturo. MORALES, Castro, José Antonio. Proyectos de Inversión. Formulación y Evaluación. Primera Edición. Editorial McGraw Hill. México. 2009, pág 425.
- [8] NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 146. Higiene y Seguridad. Colores y señales de seguridad. Colombia. 1987, pág 18.
- [9] NORMA TÉCNICA GTC COLOMBIANA 24. ICONTEC. Gestión Ambiental. Residuos Sólidos. guía para la separación en la fuente. Colombia. 2009, pág 18.
- [10] NORMA TÉCNICA COLOMBIANA GTC 86. ICONTEC. Guía para la implementación de la gestión integral de residuos. Colombia. 2003, pág 10.

[11] TCHOBANOGLIOUS. GEORGE, THEISEN HYLARY & VIGIL. SAMUEL A. Gestión Integral de Residuos Sólidos. Segunda Edición. Editorial McGraw Hill. México. 2000, pág 1120.

10. REFERENCIAS.

[1] Alcaldía de Pereira, Actualización del Plan Municipal de Gestión Integral de Residuos Sólidos PGIRS 2015-2027.

[2] COLOMER. Mendoza, Francisco José, GALLARDO. Izquierdo, Antonio. Tratamiento y Gestión de Residuos Sólidos, Valencia, Universidad Politécnica de Valencia Serv. Publ, 2007, pág. 328.

[3] SAENZ BECERRA MARIA, VELEZ CASTAÑO DANNY. Evaluación Administrativa de la Gestión Integral de Residuos Sólidos en el Municipio de Pereira, A partir de la Planeación Estratégica Situacional. Caso de Estudio: Empresa de Aseo de Pereira S.A E.S.P. Pereira. 2016.

[4] TCHOBANOGLIOUS. GEORGE, THEISEN HYLARY & VIGIL. SAMUEL A. Gestión Integral de Residuos Sólidos. Segunda Edición. Editorial McGraw Hill. México. 2000, pág 935

[5] Sáez; J. Urdaneta G.” Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe” Revista Omnia, Vol.20 núm.3 setiembre-diciembre, 2014, pp.121-135. Maracaibo, Venezuela.

[6] Olaya O., Javier; Klinger A., Rafael A.; Delgado F., Jorge E. Artículo Scientia Et Technica, Una aplicación del muestreo aleatorio simple para la caracterización elemental de residuos sólidos en la industria. Universidad Tecnológica de Pereira. Mayo 2004. Vol. X. Número 24, 7 pág.

[7] Klinger, Rafael A; Olaya, Javier; Marmolejo, Luis; Madera, Carlos. Artículo Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, Plan de muestreo para la cuantificación de residuos sólidos generados en las zonas urbanas de ciudades de tamaño intermedio. Universidad de Antioquia. Número 48. junio 2009, 12 pág.

- [8] Vargas, Pablo C. Trabajo de grado. Diseño y ejecución de la planta de manejo integral de residuos sólidos (PMIRS) del municipio de Restrepo. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Valle del Cauca. 2015
- [9] León, Ardila María. Trabajo de grado, Implementación de una planta para el procesamiento de los residuos sólidos orgánicos en el municipio de Cajicá. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C, 2017.
- [10] Mendoza, A. Planta de tratamiento de lixiviados parque ambiental Los Pocitos. Memorias ii simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, Ediciones Uninrte, barranquilla Colombia. 2009. Pag 64
- [11] Manuel Reyes Medina, Lixiviados en plantas de residuos. tesis doctoral, universidad politécnica de valencia, España, 2015 Pág. 63
- [12] BACA. Urbina, Gabriel. Evaluación de Proyectos. Séptima Edición. Editorial McGraw Hill. México. 2014, pág 311.
- [13] INSTITUTO LATINOAMERICANO DE PLANIFICACIÓN ECONÓMICA Y SOCIAL, ILPES. Guía para la presentación de Proyectos. Siglo XXI Editores. México. 1974, pág 226.
- [14] MORALES. Castro, Arturo. MORALES, Castro, José Antonio. Proyectos de Inversión. Formulación y Evaluación. Primera Edición. Editorial McGraw Hill. México. 2009, pág 425.
- [15] MEYERS. Fred. STEPHENS. Matthew. Diseño de Instalaciones de Manufactura y Manejo de Materiales. Tercera Edición. Editorial Pearson Prentice Hall. México. 2006, pág 280.